



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO**

Sistema de Ventilação com Resfriador de Ar Experimental

Aluna: Sanne Bontempo Taveira

Brasília, 2008

Sanne Bontempo Taveira

Sistema de Ventilação com Resfriador de Ar Experimental

Prof. Orientador: Carmo Gonçalves

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia do UniCEUB como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Brasília - DF, Junho de 2008

AGRADECIMENTOS

À minha família que me ensinou os pilares de um profissional de sucesso: princípios morais e éticos;

Ao meu amado Gustavo: um presente do curso de Engenharia.

Aos meus amigos pela torcida e credibilidade no meu êxito;

Ao meu orientador Carmo Gonçalves que conduziu a orientação com maestria e profissionalismo.

Ao professor José Julimá Bezerra que contribuiu decisivamente neste trabalho.

Aos meus colegas que marcaram minha vida de estudante universitária e se tornaram amigos fiéis.

Aos meus professores: mestres na arte de ensinar;

Aos funcionários da Instituição que cumpriram sua função com dedicação e facilitaram a trajetória estudantil.

Aos técnicos em refrigeração que colaboraram para o entendimento do projeto.

Acima de tudo, agradeço a DEUS, o maior Engenheiro que arquitetou a Vida com sua beleza e leis perfeitas.

” Nós somos feitos do tecido de que são feitos os sonhos.“

William Shakespeare

RESUMO

Os fenômenos de transferência de calor, além de ser uma parte fascinante da Engenharia, apresentam papéis fundamentais em problemas industriais, ambientais e para o conforto do ser humano. Estes fenômenos abrangem, entre outros, sistemas criogênicos, de combustão, resfriamento de computadores, sistemas de refrigeração, ventilação e condicionamento de ar.

Este trabalho apresenta uma fundamentação teórica dos fenômenos de transferência de calor aplicados diretamente em sistemas de ventilação e de resfriamento de ar, discorrendo sobre os principais componentes de um sistema de refrigeração normal simplificado, denominado de resfriador de ar, e realiza um comparativo entre um sistema de ventilação e um sistema de resfriamento de ar.

Este projeto promove o desenvolvimento de uma bancada experimental, dotada de um ventilador centrífugo com duas rotações: mínima e máxima associado a um sistema de refrigeração destinado ao resfriamento de ar. Este sistema utilizará o compressor, condensador e tubo capilar do ar condicionado, modelo Air Master 21.000 BTU's da Cônsul. Nesta bancada são realizados ensaios, considerando duas vazões (m^3/s) distintas de insuflamento de ar, onde se avaliam as trocas térmicas, eficiência do sistema, perdas de calor, medições de temperatura e vazão de ar e por fim a operacionalidade do aparato.

Palavras-chave: Ventilador, Resfriador e Transferência de calor.

ABSTRACT

The phenomena of heat's transfer, beyond being a fascinating part of Engineering, have key roles in industrial problems, environmental and for the comfort of human beings. These phenomena include, among others, criogenic systems, combustion systems, computer's cooling, cooling systems, ventilation and air conditioning.

This work presents a theoretical foundation of the phenomenon of heat's transfer applied directly to systems for ventilation and cooling of air, talking about the key components of a cooling system of simplified standard, called the cooling of air, and performs a comparison between a ventilation system and a system of air cooling.

This project promotes the development of a bench trial, with a centrifugal blower with two rotations: minimum and maximum, combined with a cooling system for the cooling of the air. This system uses a compressor, condenser and a tube capillary of an air conditioning, model Air 21,000 BTU's Master of Consul. In bench tests are performed, considering two different flow rates of launch of air, where they assess the thermal exchange, efficiency of the system, loss of heat, measurements of temperature and air flow, and finally the operability of the apparatus.

Keywords: Fan, Cooling system and Transfer of heat.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Motivação.....	14
1.2 Objetivos Gerais.....	14
1.3 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Estrutura do Trabalho.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Definição e Fundamentos.....	17
2.1.1 Transferência de calor.....	17
2.1.2 Evaporação.....	20
2.1.3 Condensação.....	20
2.2 Sistema de Ventilação.....	21
2.2.1 Canalizações.....	23
2.2.2 Ventilador.....	24
2.3 Sistema de Ar Condicionado.....	27
2.3.1 Condicionamento de ar.....	28
2.3.2 Psicrometria.....	30
2.3.3 Eficiência Energética.....	33
2.4 Sistema de Refrigeração	35

2.4.1 Ciclo de Refrigeração.....	36
2.4.1.1 Componentes do ciclo de refrigeração.....	38
2.4.1.2 Ciclo de refrigeração de Carnot.....	51
3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DO RESFRIADOR DE AR.....	54
3.1 Descrição Geral da Bancada.....	54
3.2 Descrição Detalhada da Bancada.....	54
3.2.1 Componentes e instrumentos da bancada.....	54
3.2.2 Instalação elétrica da bancada.....	69
3.3 Descrição dos procedimentos e metodologias dos ensaios.....	75
3.4 Resultados Obtidos.....	77
3.4.1 Ensaio 1 – Sistema de ventilação.....	77
3.4.2 Ensaio 2 – Sistema de refrigeração.....	79
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	85
4.1 Análise técnica da Eficiência Energética.....	85
4.2 Análise comparativa do sistema de ventilação com o sistema de resfriamento...	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
5.1 Conclusões.....	91
5.2 Dificuldades Encontradas.....	92
5.3 Sugestões para projetos futuros.....	93
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	95
7 ANEXOS.....	99
7.1 A1 - Coeficientes de condutibilidade térmica	99
7.2 A2 - Termômetro - Modelo: MT-320.....	101
7.3 A3 - Termo Higrômetro Modelo: MT-242.....	102

7.4 A4 - Calor específico das substâncias.....	103
7.5 A5 - Condicionador de ar Air Master 21.000 BTUs.....	104
FOTO DA BANCADA.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTU	British Thermal Unit
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CFC	Clorofluorcarbonetos
HFC	Hidrofluorcarbonetos
HCFC	Hidroclorofluorcarboneto
PNC	Plano Nacional para eliminação de CFC
SDOs	Substâncias que destroem a camada de ozônio
EER	Energy Efficiency Ratio
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Protótipo inicial do projeto.....	15
Figura 2.1 - Ventilador centrífugo com pás para trás.....	25
Figura 2.2 - Ventilador centrífugo com pás para frente.....	26
Figura 2.3 - Ventilador centrífugo com pás radiais.....	26
Figura 2.4 - Esquema da carta psicométrica.....	31
Figura 2.5 - Ciclo de refrigeração por compressão de vapor.....	36
Figura 2.6 - Tipos de compressores.....	38
Figura 2.7 - Compressor alternativo.....	39
Figura 2.8 - Compressor rotativo	39
Figura 2.9 - Compressor centrífugo.....	39
Figura 2.10 - Compressor axial.....	40
Figura 2.11 - Condensador a ar.....	42
Figura 2.12 - Condensador a água	42
Figura 2.13 - Condensador evaporativo.....	43
Figura 2.14 - Evaporador.....	43
Figura 2.15 - Válvula termostática.....	45
Figura 2.16 - Tubos capilares.....	46
Figura 2.17 - Desenho esquemático de uma máquina de Carnot.....	52
Figura 2.18 - Gráfico pressão x volume do Ciclo de Carnot.....	53
Figura 3.1 - Placa do compressor.....	55
Figura 3.2 - Compressor da bancada.....	55

Figura 3.3 - Separador do óleo ao lado do compressor.....	56
Figura 3.4 - Condensador da bancada.....	57
Figura 3.5 - Duto e evaporador da bancada.....	58
Figura 3.6 - Recipiente do refrigerante R-22.....	60
Figura 3.7 - Filtro-tela ao lado do tubo capilar.....	61
Figura 3.8 - Dimensão e disposição das chicanas no duto no início do projeto.....	62
Figura 3.9 - Dimensão e disposição das chicanas no duto no final do projeto.....	62
Figura 3.10 - Partes do ventilador centrífugo.....	63
Figura 3.11 - Ventilador centrífugo pás pra trás.....	64
Figura 3.12 - Ventilador axial.....	64
Figura 3.13 - Motor dos ventiladores da bancada.....	65
Figura 3.14 - Placa do motor do ventilador	66
Figura 3.15 - Termômetro - Modelo: MT-320.....	67
Figura 3.16 - Termo Higrômetro: Modelo MT-242.....	68
Figura 3.17 - Anemômetro.....	68
Figura 3.18 - Diagrama elétrico da bancada.....	70
Figura 3.19 - Desenho Esquemático de um compressor rotativo	71
Figura 3.20 - Funcionamento do termostato	73
Figura 3.21 - Desenho esquemático de um termostato.....	74
Figura 3.22 - Diagrama pressão x entalpia do R-22.....	82
Figura 3.23 - Carta psicrométrica para altitudes de 750m.....	84
Figura 4.1 - Ensaio 2: Velocidade mínima x Vazão volumétrica.....	87
Figura 4.2 - Ensaio 2: Velocidade máxima x Vazão volumétrica.....	88
Figura 4.3 - Ensaio 2: Velocidades mínima x Temperatura.....	89

Figura 4.4 - Ensaio 2: Velocidades máxima x Temperatura.....	89
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Refrigerantes substitutos.....	48
Tabela 3.1 - Resultado do ensaio 1 para velocidade mínima.....	78
Tabela 3.2 - Resultado do ensaio 1 para velocidade máxima.....	78
Tabela 3.3 - Resultado do ensaio 2 para velocidade mínima.....	79
Tabela 3.4 - Resultado do ensaio 2 para velocidade máxima.....	80
Tabela 3.5 - Temperatura do refrigerante na entrada e saída do compressor.....	81
Tabela 3.6 - Variação da umidade relativa.....	83

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar no ambiente de trabalho é um item relevante ao projetar casas, escritórios ou fábricas. Os sistemas de ventilação ou refrigeração deverão ser instalados de forma a permitir não só o conforto térmico das pessoas, mas também o tratamento e a renovação do ar de forma eficiente.

Toda atividade humana exige alguma forma de energia, ao mesmo tempo em que incorre em impactos sobre o meio ambiente. Por outro lado, a correta gestão da energia exige competência técnica nos assuntos ligados à energia: transferência de calor, termodinâmica, combustão, medidas térmicas, máquinas, escolha de materiais e equipamentos, dentre outros. Encontrar o ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e os impactos sobre o meio ambiente é uma grande responsabilidade e desafio para os gestores.

Buscando atender às expectativas de um número cada vez maior de pessoas, o estudo da relação entre conforto, produtividade e satisfação no ambiente de trabalho tem levado à realização de inúmeras pesquisas a respeito do conforto térmico e os mecanismos de troca de calor do ser humano com o ambiente.

Neste trabalho busca-se conhecimentos sobre sistemas de ar condicionado e ventilação, tanto do ponto de vista teórico quanto experimental, cuja estrutura é apresentada no item 1.4.

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação inicial era projetar um ventilador associado a um sistema de condicionamento de ar e a um sistema de ventilação, de forma que ora fosse utilizado para ventilar e ora para resfriamento de ar utilizando um sistema de refrigeração, e entender melhor esses processos associados aos fenômenos de transferência de calor.

A idéia surgiu no ambiente doméstico, a partir do desejo de ter um ar condicionado em casa e no lugar dele havia um ventilador. Pensou-se, então em reunir as funções ventilar e refrigerar partindo do ventilador.

Novas tecnologias nessa área possibilitam conforto térmico localizado. Assim sendo, de pequenos a grandes espaços, de áreas pouco ou muito adensamento, de locais com baixa carga térmica a grandes geradores de calor, de áreas de lazer a locais de trabalho, todos podem se beneficiar das vantagens da ventilação e refrigeração.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O projeto tem como objetivo montar e colocar em operação um sistema de ventilação dotado de um ventilador centrífugo, destinado a captar ar ambiente e insuflá-lo em um sistema de resfriamento, partindo dos componentes de um sistema “*self contained*” existente com finalidades didáticas. Este trabalho consiste também em realizar a análise técnica da eficiência utilizando-se da variação de velocidade de insuflamento; realizar um comparativo entre um sistema de ventilação e um sistema de resfriamento de ar, além da fundamentação teórica dos processos de ventilação e de resfriamento de ar por sistema de refrigeração. As perdas de calor por intermédio do

isolante térmico serão determinadas de forma teórica e as temperaturas de insuflamento e saída de ar serão medidas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar os objetivos gerais formularam-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os critérios técnicos aplicados necessários para a montagem e testes operacionais da bancada de experimental.
- Estabelecer critérios e metodologias para a realização dos ensaios.
- Montar e colocar em operação a bancada de teste, sendo inicialmente projetada em cima do protótipo, visto na figura 1.1.

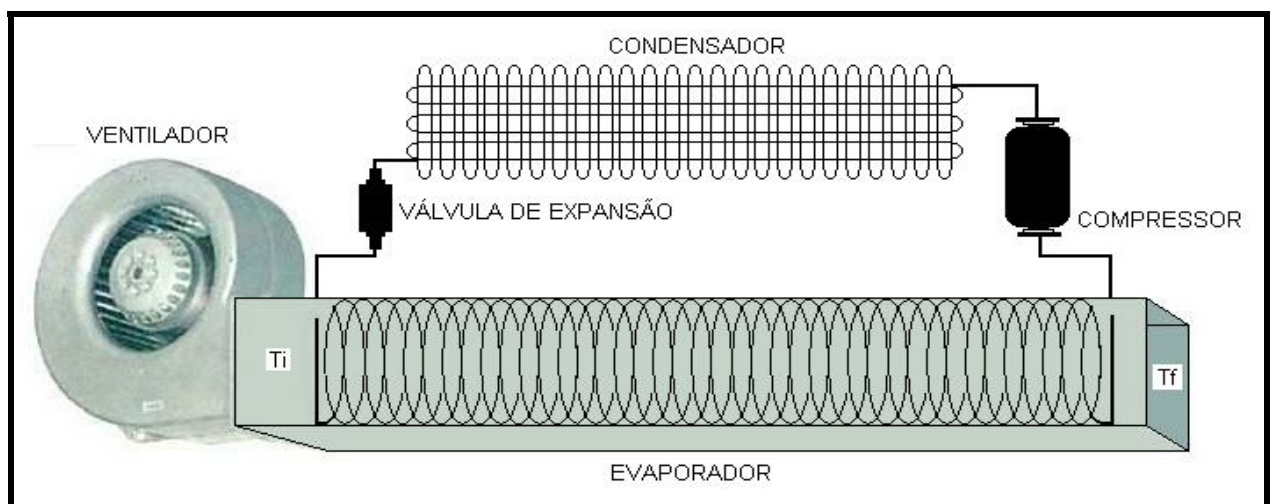


Figura 1.1 - Protótipo inicial do projeto

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturalmente dividido em 5 capítulos, incluindo a Introdução:

- O Capítulo 2 apresenta definições e fundamentos físicos sobre os sistemas de ventilação, de ar condicionado e de refrigeração. Descreve os componentes dos sistemas de refrigeração e de ventilação. Inclui também os fenômenos físicos que ocorrem durante o ciclo de refrigeração.
- O Capítulo 3 destina-se ao desenvolvimento experimental do resfriador de ar. Haverá uma descrição geral e detalhada da bancada, especificando seus componentes e instrumentos, além de expôr as metodologias e procedimentos dos ensaios.
- O Capítulo 4 faz uma análise técnica da eficiência energética da bancada e uma análise comparativa do sistema de ventilação com o sistema de refrigeração.
- O Capítulo 5 conclui o projeto e apresenta as dificuldades encontradas no decorrer do processo de montagem da bancada, e as sugestões para projetos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na seção 2.1 são apresentados os principais fenômenos físicos que envolvem o projeto, conceituando transferência de calor, evaporação, condensação e condutibilidade térmica, enquanto as seções 2.2, 2.3 e 2.4 discorrem sobre os sistemas de ventilação, de ar condicionado e de refrigeração respectivamente.

2.1 Definição e Fundamentos

2.1.1 Transferência de Calor

Quando a transferência de energia é o resultado de apenas uma diferença de temperaturas, sem a presença de trabalho, então esta transferência de energia recebe o nome de transferência de calor. O calor é definido como a energia em trânsito devido à diferença de temperaturas e que não está associada com a transferência de massa.[5]

Há três categorias gerais usadas para classificar o modo pelo qual o calor é transmitido. Elas são a condução, a convecção e radiação.

- **Condução** - é a transferência de energia através de uma substância, um sólido ou fluido, como resultado de uma diferença de temperatura dentro desta substância. Na região mais quente as partículas têm mais energia e vibram com mais intensidade; essa vibração se transmite de molécula a molécula até o extremo oposto, espalhando calor pelo corpo inteiro.[5]

A condução de calor é um processo que exige a presença, de um meio material e que, portanto, não ocorre no vácuo. A transferência pode ser alcançada pelo contato entre dois corpos, podendo ser dois sólidos, ou fluidos, ou um de cada.

A condução através de um corpo depende da sua área, da resistência térmica oferecida pelo material do qual o corpo é feito, ou seja, da sua condutibilidade térmica, da sua espessura e do gradiente de temperatura. No anexo **A1** deste trabalho mostra-se a condutibilidade térmica de alguns materiais.

A equação de Fourier é utilizada nos cálculos de instalações de refrigeração e de ar condicionado e é expressa por:[5]

$$\frac{Q}{\Delta t} = -k.A \frac{(t_i - t_e)}{e} \quad (2.1)$$

- $\frac{Q}{\Delta t}$ - quantidade de calor transferido por unidade de tempo (Kcal/h ou W)
- k - condutibilidade térmica do material (kcal/h.m.°C);
- A - superfície de transferência (m²);
- t_i - temperatura interior (°C);
- t_e - temperatura exterior (°C);
- e - espessura da parede (m);

A equação 2.1 expressa que a quantidade de calor (Q) transferida durante uma hora, numa parede de superfície (A), é diretamente proporcional à diferença de temperatura (interior e exterior) e inversamente proporcional à espessura da parede.

- **Convecção** - é a transferência de energia dentro do fluido devido ao movimento do fluido de uma posição para outra. Portanto, convecção é um movimento

de massas de fluido, trocando de posição entre si e não tem significado falar em convecção no vácuo ou em um sólido, isto é, convecção só ocorre nos fluidos.[5]

Refere-se à convecção livre ou natural quando o movimento do fluido é originado a partir de diferenças de densidade causadas por variações de temperatura do fluido. No caso da convecção forçada o movimento do fluido é causado por agentes externos, como um ventilador, ou uma bomba.

Nos refrigeradores residenciais, o evaporador é sempre instalado na parte superior, para que o ar resfriado desça, dando lugar ao ar mais quente, que sobe ao receber calor dos alimentos e da abertura das portas. As prateleiras são gradeadas para possibilitar a convecção do ar no interior do refrigerador.

Para se efetuar cálculos de transmissão de calor por convecção recorre-se à equação 2.2 a seguir:[5]

$$\boxed{\frac{Q}{\Delta t} = h.A(t_p - t_f)} \quad (2.2)$$

- $\frac{Q}{\Delta t}$ - taxa de transferência de calor (Kcal/h)
- h - coeficiente de transferência por convecção (Kcal/ m².h.°C)
- A - área (m²)
- t_p - temperatura da placa (°C)
- t_f - temperatura do fluido (°C)

• **Radiação** - a transferência de energia por ondas eletromagnéticas é chamada de transferência de calor por radiação. A transmissão de calor através de ondas eletromagnéticas não exige a presença do meio material para ocorrer, isto é, a

radiação ocorre no vácuo e também em meios materiais. No entanto, nem todos os meios materiais permitem a propagação das ondas de calor através deles. Desta forma, os meios materiais são classificados em diatérmicos e atérmicos, conforme eles permitam ou não a propagação das ondas de calor, respectivamente. O ar atmosférico é um exemplo de meio diatérmico e uma parede de tijolos é um meio atérmico. [5]

Esse tipo de transferência de calor não será focado por não ser relevante neste projeto.

2.1.2 Evaporação

A evaporação é um fenômeno no qual átomos ou moléculas no estado líquido (ou sólido, se a substância sublima) ganham energia suficiente para passar ao estado gasoso.[29]

O movimento térmico de uma molécula de líquido deve ser suficiente para vencer a tensão superficial e evaporar, isto é, sua energia cinética deve exceder o trabalho de coesão aplicado pela tensão superficial à superfície do líquido. Por isso, a evaporação acontece mais rapidamente a altas temperaturas e em líquidos com baixas tensões superficiais (isto é, com pressões de vapor mais elevadas). [29]

2.1.3 Condensação

A condensação é também conhecida como liquefação, é um dos processos em que ocorre a transformação da matéria, do estado gasoso para líquido. A condensação que normalmente ocorre quando o vapor é resfriado pode ocorrer em sistemas fechados com o vapor comprimido sendo que ambas as situações dependem somente do equilíbrio entre a pressão e temperatura.[29]

Os sistemas de condensação são explorados nas refinarias em destilação e usados na transformação de energia em turbinas termoelétricas e na produção de frio criogênico. [29]

2.2 SISTEMA DE VENTILAÇÃO

De acordo com a A.B.N.T.- Associação Brasileira de Normas Técnicas - dá-se o nome de ventilação ao processo de renovar o ar de um recinto. A finalidade da ventilação é controlar o deslocamento do ar em um recinto fechado, embora, dentro de determinados limites, a renovação do ar também possa controlar a umidade e temperatura do mesmo. [1]

Quando um ventilador funciona no sentido de exaurir ar de um ambiente e comumente chamado de exaustor.

Num ambiente, a pressão atmosférica, o insuflamento e a exaustão provocam uma pequena variação da pressão. Dessa forma, o insuflamento ocorre à pressão positiva e a exaustão à pressão negativa.

Um ambiente é considerado salubre quando o ar nele contido apresentar propriedades físicas como pressão, temperatura, movimentação, umidade e propriedades químicas que possibilitam a vida em seu meio.

De forma generalizada a ventilação do ar de um ambiente pode ser classificada como natural ou espontânea e artificial ou forçada.[1]

A **ventilação espontânea** é aquela que se verifica em virtude das diferenças de pressões naturais, ocasionadas pelo gradiente de temperatura e pelos ventos.

No interior dos ambientes, a temperatura do ar variável de local para local de tal forma que a variação de densidade do mesmo cria diferenças de pressão. O mesmo acontece com a ação dos ventos que provoca uma variação de pressão.

A ventilação espontânea pode ser intensificada dentro de um ambiente por meio de aberturas (portas, janelas) dispostas convenientemente, de forma a aproveitarem os elementos que ocasionam as diferenças de pressão como ventos, diferenças de altura e de temperaturas.

A **ventilação artificial, forçada ou mecânica** ocorre quando a renovação de ar é proporcionada por diferenças de pressão criadas mecanicamente. Esse tipo de ventilação é adotado sempre que os meios naturais não proporcionam renovação de ar necessária, ou mesmo, como elemento de segurança quando a circulação natural do ar funciona de forma precária.

A ventilação mecânica pode ser local exaustora ou geral diluidora de acordo com o tipo de contaminação do recinto. [1]

Na ventilação local exaustora o ar contaminado é capturado antes de se espalhar pelo recinto. A ventilação local exaustora tem como objetivo principal captar os poluentes de uma fonte (gases, vapores ou poeiras tóxicas) antes que os mesmos se dispersem no ar do ambiente, ou seja, antes que atinjam a zona de respiração do ser humano. De forma indireta, a ventilação local exaustora também influi no bem-estar, na eficiência e na segurança do trabalhador, por exemplo, retirando do ambiente uma parcela do calor liberado por fontes quentes que eventualmente existam. Também no que se refere ao controle da poluição do ar da comunidade, a ventilação local exaustora tem papel importante.[1]

Quanto à ventilação geral diluidora, o ar exterior da ventilação é misturado com o ar viciado do ambiente, conseguindo uma diluição do contaminante a níveis admissíveis. É o tipo de ventilação adotada quando se torna impossível capturar o contaminante antes dele se espalhar pelo ambiente. Os objetivos de um sistema de ventilação geral diluidora são: proteção da saúde ao reduzir a concentração de poluentes nocivos; segurança ao reduzir a concentração de poluentes explosivos ou inflamáveis; proteção de materiais ou equipamentos por manter condições atmosféricas adequadas.[1]

2.2.1 Canalizações

As canalizações de uma instalação podem ser classificadas como Plenos e Dutos. [1]

Os plenos são canalizações onde a velocidade de deslocamento do ar é inferior a 1,7m/s [1], além de executadas na própria estrutura da construção, constituídas por vãos ou rebaixos de forros.

Quanto aos dutos são divididos em dutos de alta e baixa pressão. Os dutos de alta pressão são canalizações de formato circular, onde o ar atinge velocidades superiores a 10 m/s [1]. Trata-se de uma técnica pouco usada em virtude da grande potência consumida para a circulação do ar e que exige abafadores na boca de saída para eliminar os ruídos elevados que se formam no escoamento do ar a grandes velocidades.

Os dutos de baixa pressão são canalizações de formato retangular onde as velocidades adotadas são inferiores a 10 m/s [1]. São constituídos geralmente por

chapas metálicas de aço galvanizado, alumínio semiduro, cobre, aço inoxidável, chumbo, ou mesmo, materiais como concreto, madeira, plástico, fibra de vidro.[1]

O duto utilizado na bancada deste trabalho foi construído na forma retangular de chapa galvanizada, isolado internamente por isopor por ter um coeficiente de condutibilidade térmica baixa.

2.2.2 Ventilador

A função básica de um ventilador é, pois, mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. O deslocamento do ar é efetuado a partir do motor elétrico, que através de polias ou correias, transmite o movimento rotatório ao rotor do ventilador. São elementos imprescindíveis nos sistemas de condicionamento de ar e de ventilação.

Os ventiladores, quanto ao sentido da rotação em relação ao eixo, podem ser classificados em centrífugos/radiais ou hélice/axial.

O ventilador axial consiste em uma hélice montada numa armação de controle de fluxo, com o motor apoiado por suportes normalmente presos à estrutura dessa armação.[15]

O nome axial decorre do fato de que o ar que passa através do ventilador não muda de direção e escoar paralelamente ao eixo da máquina. Um ventilador axial é normalmente usado quando os requisitos de vazão são altos e a demanda de pressão é baixa, ou seja, da ordem de 6,4 mm.c.a [2].

Os ventiladores centrífugos, também conhecidos como radiais consistem em um rotor, uma carcaça de conversão de pressão e um motor. O ar entra no centro do rotor em movimento na entrada, e acelerado pelas palhetas é impulsionado da periferia do

rotor para fora da abertura de descarga. Num ventilador centrífugo a rotação do rotor faz com que o ar escoe através dele numa direção radial, desenvolvendo pressão enquanto isto ocorre, e é utilizado para pressões de até a ordem de 76 mm.c.a [2].

Existe uma divisão entre os ventiladores centrífugos, com relação aos seus rotores:

Centrífugo, pás para trás - tem um rotor com as pás inclinadas no sentido contrário ao de rotação, conforme figura 2.1, e apresenta eficiência e nível de ruído baixo.[15]

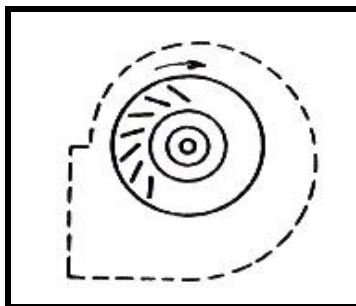


Figura 2.1 - Ventilador centrífugo com pás para trás

Fonte: http://www.geocities.com/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html

Centrífugo, pás para frente - mais eficiente, tem maior capacidade exaustora a baixas velocidades, e não é adequado para trabalhos de alta pressão nem para altas cargas de poeira, apresentando problemas freqüentes de corrosão, se mal utilizado.[15] Ilustrado na figura 2.2 a seguir.

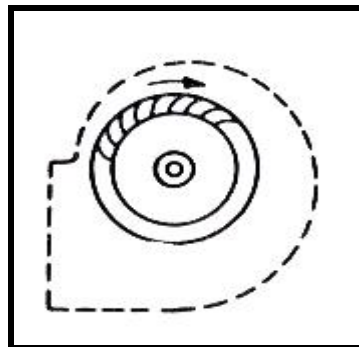


Figura 2.2 - Ventilador centrífugo com pás para frente

Fonte: http://www.geocities.com/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html

Centrífugo, pás radiais - Um ventilador robusto, para movimentação de grandes volumes de ar com carga de poeira, poeiras pegajosas e corrosivas. Apresenta menores possibilidades de "afogar", sendo usado para trabalhos mais pesados. A eficiência desse tipo de ventilador é baixa e seu funcionamento barulhento. Ilustrado na figura 2.3 a seguir.

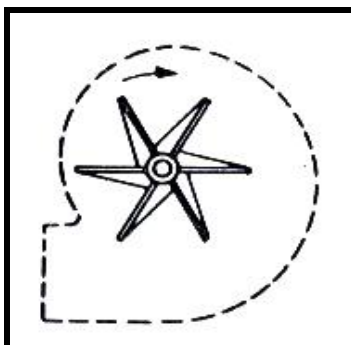


Figura 2.3 - Ventilador centrífugo com pás radiais

Fonte: http://www.geocities.com/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html

De forma sucinta pode-se dizer que os ventiladores axiais são mais adequados para maiores vazões e menores pressões e o contrário para os radiais. Os ventiladores axiais têm em geral rendimentos maiores que os radiais. Isso ocorre porque a direção

do fluxo de saída é a mesma da do fluxo de entrada, ou seja, não há o desvio de 90° dos radiais.[22]

Uma das desvantagens dos axiais é que o nível de ruído é maior e se montados em dutos, a manutenção é mais trabalhosa. Embora possam ter motores externos e acionamento por correia, os mancais (suporte de apoio de eixos e rolamentos que são elementos girantes de máquinas), e parte da correia está em contato com o fluxo. Por melhores que sejam as proteções, isso é sempre uma limitação nos casos de partículas abrasivas, gases corrosivos e altas temperaturas.[22]

Nos ventiladores radiais, a forma construtiva permite que os mancais sejam externos ao fluxo. Isso dá uma efetiva proteção aos mesmos e, no caso de altas temperaturas, o eixo pode ser prolongado ou dispor de discos para dissipar o calor. A forma construtiva também dá uma maior facilidade no trabalho de montagem ou desmontagem do conjunto.

O ventilador centrífugo é o mais apropriado ao projeto desenvolvido, uma vez que esse tipo de ventilador possui estática maior, permitindo operar com dutos.

2.3 SISTEMA DE AR CONDICIONADO

2.3.1 Condicionamento de ar

De acordo com a A.B.N.T., condicionamento de ar é o processo pelo qual são controladas, simultaneamente, a temperatura, a umidade, a movimentação e a pureza do ar em recintos fechados. Ar condicionado é o ar resultante do processo de condicionamento.[1]

O condicionamento de ar pode ser dividido em duas categorias distintas quanto ao seu objetivo: conforto e industrial. Enquanto o condicionamento de ar para conforto visa às pessoas, o industrial tem por objetivo satisfazer condições de processos. No que diz respeito ao ar, o condicionamento de ar na indústria se diferencia daquele para conforto em diversos aspectos, contando-se entre eles: o nível de temperatura, as exigências de um controle adequado da umidade e um elevado índice de filtragem e remoção de contaminantes.[1]

O condicionamento de ar na indústria pode ser encontrado em aplicações tais como: indústria de impressão, onde um rígido controle de umidade se faz necessário para uma fixação adequada das cores em impressão colorida; indústria têxtil, onde se busca limitar o rompimento de fibras; indústria de produção de material fotográfico; e laboratórios. Finalmente, pode se afirmar que a grande diferença entre o condicionamento de ar para conforto e aquele na indústria reside na maior precisão que este último exige no controle da temperatura.[1]

Muitos locais necessitam de condicionamento do ar especial, principalmente na qualidade requerida como, por exemplo, em hospitais, principalmente em salas de operações, centros de terapia intensiva. Devido às reduções na quantidade de ar exterior insuflado ao ambiente ou mesmo a qualidade de ar insuflado diversos problemas de saúde são ocasionados. Há condições ideais de temperatura e umidade para diferentes tipos de cirurgia.

O condicionamento e controle da qualidade de ar também são essenciais na indústria farmacêutica para as etapas e processos de fabricação de remédios.

Para obter o ar condicionado seja ele destinado ao conforto humano ou outras finalidades é necessário executar sobre o mesmo uma série de operações de

tratamento do ar. Essas operações podem ser classificadas em purificação, aquecimento, umidificação, refrigeração, desumidificação e mistura.[1]

A purificação do ar consiste na eliminação das partículas sólidas (poeiras, fumaças) e é feita por meio de filtros, câmaras de retenção de pó.

O aquecimento do ar é obtido diretamente por meio de resistências elétricas e caloríferos ou indiretamente por meio de serpentinas de água quente, vapor ou fluido refrigerante.[1]

A umidificação consiste no aumento do conteúdo de umidade, o que se consegue por meio de injetores de vapor, recipientes com água.

A refrigeração pura do ar é obtida colocando-se o mesmo em contato com uma superfície fria, a uma temperatura igual ou superior a sua temperatura de orvalho. [1]

A desumidificação do ar consiste na redução do conteúdo de umidade e é obtida por meio de refrigeração e de meios químicos.[1]

E por fim a mistura de ar. Em ambientes de ar condicionado é comum o ar do ambiente ser misturado como o ar exterior.

Um sistema de ar condicionado para ambientes com permanência de pessoas deve promover a renovação de ar ambiente com ar exterior a fim de reduzir a concentração de poluentes gerados internamente.

A taxa de renovação do ar adequada para ambientes climatizados deverá ser no mínimo $27\text{m}^3/\text{h}$ por pessoa, com exceção em ambientes com alta rotatividade de pessoas de acordo com a [Resolução nº 9 da ANVISA](#) - Agência Nacional de Vigilância Sanitária.[10]

2.3.2 Psicrometria

A psicrometria é o estudo das propriedades do ar, tais como a temperatura, umidade, entalpia e ponto de orvalho. Diagramas ou cartas psicrométricas relacionam várias grandezas que são relevantes em projetos e instalações de ar condicionado e de ventilação. [17]

Em ar condicionado, o ar não é seco, mas sim uma mistura de ar e de vapor d'água, resultando na importância da psicrometria. Na mistura de ar e vapor d'água é importante o estudo e cálculos de sistemas de condicionamento de ar, uma vez que o conforto térmico não depende apenas da temperatura, mas também da quantidade de vapor d'água presente no ar. Em alguns processos, a água é removida do ar (desumidificação), enquanto em outros é adicionada (umidificação). [17]

A quantidade de vapor d'água presente na mistura pode variar de zero até um valor correspondente à condição de saturação. Essa condição corresponde à quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode conter em dada condição de temperatura. Portanto, o ar saturado é a mistura de ar e vapor d'água saturado, por outro lado o ar não saturado é a mistura de ar com vapor d'água superaquecido.[22]

A carta psicrométrica, de modo geral, é um gráfico que tem por ordenadas a umidade específica e a pressão de vapor, e como abscissa a temperatura de bulbo seco, conforme ilustrado na figura 2.4.

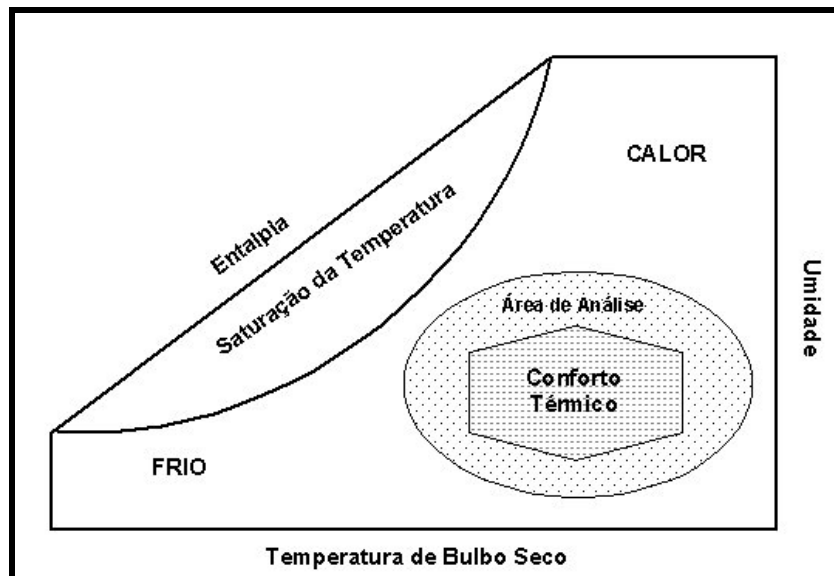


Figura 2.4 - Esquema da carta psicrométrica

Fonte: <http://www2.pucpr.br/educacao/1st/climat.html>

O volume específico da mistura, a temperatura de bulbo úmido, a umidade relativa e a entalpia mistura aparecem como outros parâmetros. Portanto, alguns conceitos importantes são importantes serem citados:

Entalpia: é o termo usado para designar o calor total ou calor contido em uma determinada substância, expressa em KJ/Kg.[3]

Temperatura de orvalho: é a temperatura na qual o vapor d'água satura e condensa, ou seja, é a temperatura na qual o ar não-saturado torna-se saturado. Quanto mais distante a temperatura de orvalho está da temperatura ambiente menor é o risco de condensação e mais seco será o ar. [25]

Umidade relativa: é a razão entre a pressão parcial do vapor d'água e a pressão de saturação de vapor d'água sobre uma superfície com água líquida, mantida na temperatura do gás, sendo expressa em percentagem (%).[25]

Quando o ar contém o máximo de vapor possível a uma dada temperatura, ou seja, o ar se encontra saturado, então a pressão de vapor nessa circunstância é dita máxima ou de saturação. Se a quantidade de vapor não for suficiente para saturar o ar, sua pressão é chamada de pressão parcial de vapor.

Umidade absoluta: é massa do vapor de água por unidade de volume de ar. Mede-se em g/m^3 ou Kg/m^3 . [4]

Temperatura de bulbo úmido: é a temperatura indicada pelo termômetro cujo bulbo está envolto por um tecido úmido.

Temperatura do bulbo seco: é a temperatura indicada por um termômetro comum.

As temperaturas de bulbo úmido e seco (do ar) são usadas para o cálculo da umidade relativa. A temperatura de bulbo úmido diminui, devido ao calor retirado para evaporar a água, contida no tecido úmido. O seu resfriamento é diretamente proporcional à secura do ar. Quanto mais seco o ar, maior o resfriamento. Portanto, quanto maior a diferença entre as temperaturas de bulbo úmido e de bulbo seco, menor a umidade relativa; quanto menor a diferença, maior a umidade relativa. Se o ar estiver saturado, nenhuma evaporação ocorrerá e os dois termômetros terão leituras idênticas. [27]

Zona de conforto: zona da carta psicrométrica que compreende pontos representativos da temperatura correspondentes a condição de sensação térmica julgada de conforto para um grupo de pessoas.

Vapor d'água: a uma dada temperatura, o ar pode abrigar uma quantidade limitada de vapor d'água, que pode ser tratado como um gás. Quanto maior a

temperatura, maior a quantidade absoluta de vapor d'água que o ar pode abrigar. Já a umidade relativa indica quão próximo da saturação está o ar.

2.3.3 Eficiência Energética

Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas, que reduza os custos com energia e/ou aumente a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração.

O índice E.E.R. (*Energy Efficiency Ratio*) significa razão de eficiência energética. Sua unidade é Btu/h / W. Para obter o E.E.R. basta dividir a capacidade do aparelho em Btu/h pelo seu consumo em Watt. É um modo de determinar a eficiência energética dos condicionadores de ar. Essa é medida através da razão entre a potência térmica e a potência consumida. Quanto maior for esse índice, maior é a eficiência do produto, isto é, o produto entrega uma maior quantidade de energia de climatização consumindo menos energia elétrica.[13]

BTU significa *British Thermal Unit*, é uma unidade inglesa utilizada para medir a potência térmica dos condicionadores de ar, isto é, o quanto de energia (frio ou calor) é entregue para o ambiente a ser climatizado. Deve-se lembrar que potência térmica é diferente de potência consumida, esta mede a taxa de energia elétrica consumida pelo condicionador de ar.[13]

Um produto mais eficiente além de ter duração maior economiza energia e possibilita a redução dos gastos do consumidor. Por tal razão, os empresários têm investido em segmentos que possibilitem ter a eficiência energética como diferenciação do produto, não só pelos benefícios financeiros que ele trará, mas também pela questão sócio-ambiental envolvida.

Em 17 de outubro de 2001 foi sancionada pelo Presidente da República a [lei nº 10.295](#), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Essa lei estabelece “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes”. [23] A lei também prevê que os fabricantes e importadores têm o prazo máximo de 30 dias para recolher as máquinas e aparelhos consumidores de energia caso estejam sem as especificações legais exigidas, caso não atendam a lei estarão sujeitos a multas de até 100% do preço de venda.

No Brasil parte dos recursos destinados a eficiência energética são oriundos das concessionárias de energia elétrica. A [lei nº 9.991](#), de 24 de julho de 2000 decreta que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar 0,5% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e 0,5% em programas de eficiência energética. A lei nº 9.991 também define que a partir de janeiro de 2006 o percentual passa a ser de 0,25% em programas de eficiência energética e 0,75% em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. [9]

A eficiência no uso final são tecnologias e práticas que estimulam a eficiência energética no nível do consumidor final. Inclui o emprego de eletricidade e tecnologias caloríficas existentes, tais como ventilação, condicionamento de ar, motores, iluminação.

2.4 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A refrigeração baseia-se na manutenção de um sistema a uma temperatura inferior a do meio ambiente. Uma das aplicações da refrigeração é na indústria alimentícia. A refrigeração diminui a proliferação das bactérias sobre os alimentos, preservando intactas as propriedades orgânicas dos alimentos prolongando o tempo de conservação dos mesmos.

A retirada do calor do meio (seja este o próprio ar ambiente, um gás, um líquido ou mesmo um sólido) pode ser por circulação direta do fluido frigorígeno que faz parte do ciclo de refrigeração ou por circulação de um líquido frigorígeno secundário (água ou salmoura). No primeiro caso a refrigeração é dita a expansão direta e no segundo é dita a expansão indireta.[1]

A refrigeração mecânica por meio de vapores será a técnica adotada neste trabalho a fim de obter o resfriamento do ar ambiente.

Esse processo consiste na produção contínua do líquido frigorífico, o qual por vaporização retira o calor do meio a refrigerar. Contudo, para que a vaporização seja contínua, o fluido vaporizado deve ser novamente condensado. Isso se consegue fazendo a vaporização em espaço fechado (evaporador), no qual a pressão é mantida no valor desejado, conduzindo o vapor formado até um compressor. O vapor então comprimido, pode ceder calor ao meio ambiente, por meio de um trocador de calor (condensador), condensando-se. O líquido assim obtido, por meio de uma válvula de expansão ou tubo capilar, pode ser colocado à pressão de vaporização, compatível com a temperatura de refrigeração desejada, voltando a ser vaporizado, caracterizando o ciclo básico de refrigeração. [1]

Assim, o sistema de refrigeração mecânica por meio de um vapor é um conjunto de elementos ligados em circuito fechado, destinado a liquefazer o fluido frigorígeno e possibilitar a sua vaporização contínua, em condições de pressão adequada. A instalação de refrigeração mecânica por meio de vapores, deverá conter essencialmente os componentes: compressor, condensador, evaporador, válvula de expansão ou tubo capilar e o fluido frigorígeno ou refrigerante.

2.4.1 Ciclo de Refrigeração

A bancada de ensaio consiste em um sistema de ventilação com resfriamento de ar experimental, o qual utiliza um ventilador centrífugo que capta ar ambiente e o insufla através de um duto para um sistema de resfriamento, promovendo a troca de calor resfriando este ar. Esse sistema opera em um ciclo termodinâmico de refrigeração e é composto por evaporador, condensador, compressor, tubo capilar e fluido refrigerante (Freon 22), conforme figura 2.5.

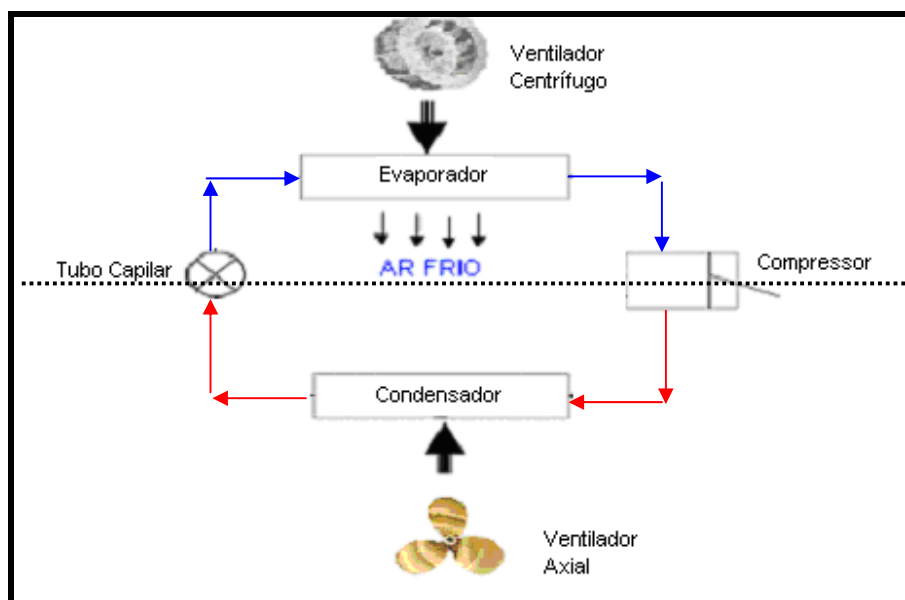


Figura 2.5 – Ciclo de refrigeração por compressão de vapor

No evaporador, o ar passa pelas serpentinas, nas quais escoam internamente o fluido refrigerante à baixa pressão normalmente em mudança de fase, ou seja, em processo de vaporização. Esta mistura líquido-gás permite absorver calor e esfriar o ar dentro do duto principalmente pelo fenômeno da condução térmica. Portanto, o ar ao longo do trajeto entre as serpentinas se torna frio até a sua saída para o ambiente.

No evaporador o fluido refrigerante recebe o calor cedido pelo ar. À medida que o calor é cedido ao refrigerante, mais vapor é formado no interior das serpentinas com conseqüente aumento de velocidade. A evaporação continua, até que no final do evaporador, o refrigerante se encontre no estado de vapor saturado ou superaquecido. Nesse processo, o fluido refrigerante retira calor do ar e segue para o compressor. O fluido refrigerante, em estado de vapor superaquecido numa pressão e temperatura baixa entra no compressor, que o comprime, elevando sua pressão e temperatura e segue para o condensador. No condensador o calor ganho no processo de compressão é rejeitado para o exterior, causando assim o resfriamento e conseqüentemente a mudança de vapor para líquido. O refrigerante deixa o condensador no estado de líquido subresfriado (diminuição da temperatura do fluido frigorígeno após a condensação). O líquido escoam em alta pressão para um dispositivo de expansão: válvula de expansão ou tubo capilar. No caso do projeto é um tubo capilar, que provoca a queda de pressão e conseqüentemente sua vaporização parcial e resfriamento. Em seguida retorna ao evaporador, completando assim o ciclo.

O duto será revestido por um isolante térmico, o qual dificultará a troca térmica entre o mesmo e o meio externo. As trocas térmicas e a vazão volumétrica no percurso do ar dentro do duto serão determinadas, considerando duas velocidades de insuflamento de ar: mínima e máxima.

2.4.1.1 Componentes essenciais do ciclo de refrigeração

1 - Compressor: é um equipamento concebido para aumentar a pressão de um fluido em estado gasoso e de fundamental importância nos sistemas de refrigeração.

São classificados principalmente em dois tipos, conforme seu princípio de operação, que são apresentados na figura 2.6.[29]

- Compressores de deslocamento positivo (Volumétricos).
- Compressores de palhetas (Dinâmico).

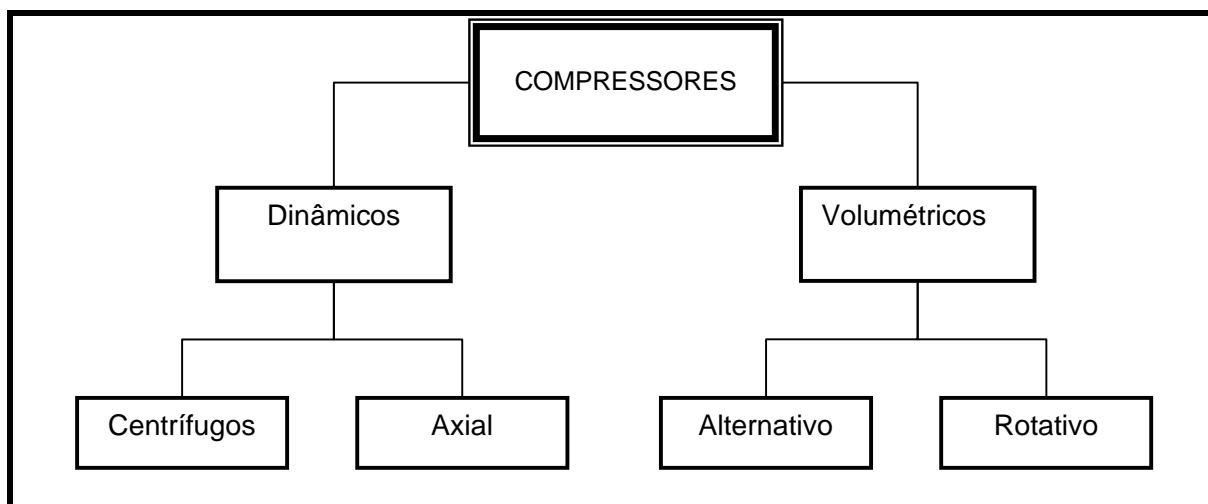


Figura 2.6 - Tipos de compressores

Os compressores volumétricos baseiam-se fundamentalmente na redução do volume do ar. O ar é capturado da atmosfera e enviado para uma câmara isolada do meio exterior, onde seu volume é gradualmente diminuído, processando-se a compressão.

Os compressores volumétricos são subdivididos em Alternativos (de pistão), figura 2.7, e Rotativos (de parafuso e centrífugo), figura 2.8. Em termos conceituais, os compressores de pistão e de parafuso são denominados de deslocamento positivo, pois

a compressão do ar é obtida pela redução de seu volume, de forma alternada (pistão) ou contínua (parafuso).[20]

Enquanto os compressores dinâmicos são subdivididos em centrífugos, figura 2.9, ou axiais, figura 2.10. O compressor centrífugo é do tipo dinâmico, pois a compressão ocorre pela transformação da energia cinética (velocidade) do ar em energia potencial (pressão). [20]



Figura 2.7 - Compressor alternativo



Figura 2.8 - Compressor rotativo

Fonte: www.bandeirantesrefrigeracao.com.br/compressores.html

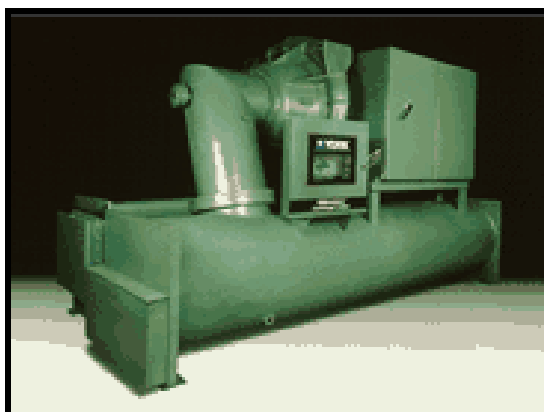


Figura 2.9 - Compressor Centrífugo

Fonte: <http://www.refrigeracao.net/Topicos/compressores.htm>



Figura 2.10 - Compressor Axial

Fonte: www.arsinco.com.br/chiller.gif

Um compressor eficiente é aquele que desloca maior quantidade de ar, aquecendo o mínimo possível e com menor esforço. Em suma, é aquele que possui melhor eficiência volumétrica e adiabática (ou térmica). [28]

Eficiência volumétrica indica o quanto de ar que o compressor consegue comprimir e quanto é perdido através de vazamentos e a eficiência adiabática indica a quantidade de energia que o compressor perde em forma de calor para produzir potência. [28]

A escolha do tipo de compressor depende essencialmente da capacidade da instalação e do fluido refrigerante usado. O compressor é responsável pela circulação do gás refrigerante em todo o sistema. Ele succiona o fluido refrigerante, à baixa pressão do evaporador, e comprime-o, elevando a pressão do refrigerante de modo a absorver a máxima quantidade de calor e em seguida o encaminha ao condensador.

Este projeto utilizará o compressor do tipo rotativo.

2 - Condensador: é um dispositivo de transferência de calor. Normalmente são fabricados em cobre, alumínio ou ambos, visto que estes materiais são bons condutores térmicos. A superfície dos condensadores dos condicionadores de ar é constituída por um tubo de cobre (serpentina) prensado a pequenas chapas de alumínio (aletas), que forma uma superfície maior, aumentando a transferência de calor. A sua finalidade é esfriar e condensar o fluido proveniente da compressão, dissipando o seu calor para o meio externo. Os condensadores são colocados na parte traseira dos equipamentos, onde por convecção natural ou forçada, são resfriados.

Existem três tipos básicos de condensadores:[8]

1. Resfriados a ar.
2. Resfriados a água.
3. Evaporativos.

Os condensadores resfriados a ar e a água utilizam os elementos que lhes dão nome como agentes de condensação. Nos condensadores á água, figura 2.12, a troca de calor do refrigerante é procedida deste para a água sem contato direto entre o refrigerante e a água. Enquanto nos condensadores a ar, figura 2.11, a troca de calor é feita do refrigerante para o ar atmosférico sem contato direto entre eles. São condensadores que, ao invés da água, utilizam o ar para a retirada de calor necessário à condensação do refrigerante. Atualmente, são utilizados em pequenas unidades de refrigeração, como os refrigeradores domésticos e comerciais, e em pequenas câmaras frigoríficas. A eficiência do condensador resfriado a ar é afetada pela temperatura do ar ambiente.[8]



Figura 2.11 - Condensador a ar

Fonte: www.serraff.com.br



Figura 2.12 - Condensador a água

Fonte: <http://www.gdmdobrasil.com.br/package.htm>

O condensador evaporativo, figura 2.13, combina as funções de condensador e de torre de resfriamento, podendo ser tratado como sendo a união de um condensador a água com um condensador a ar, que utiliza o princípio da rejeição de calor através de evaporação da água em contato com a serpentina por onde escoar o vapor em condensação. [8]



Figura 2.13 - Condensador evaporativo

Fonte: <http://www.dijan.com.br/sistemas-abertos.htm>

No caso deste projeto o condensador utilizado será o do tipo1, condensador resfriado a ar.

3 - Evaporador: como o condensador, o evaporador, figura 2.14, é uma superfície de troca de calor. Sua função é a de absorver calor do espaço refrigerado, enviando-o através do compressor ao condensador, para que seja eliminado.

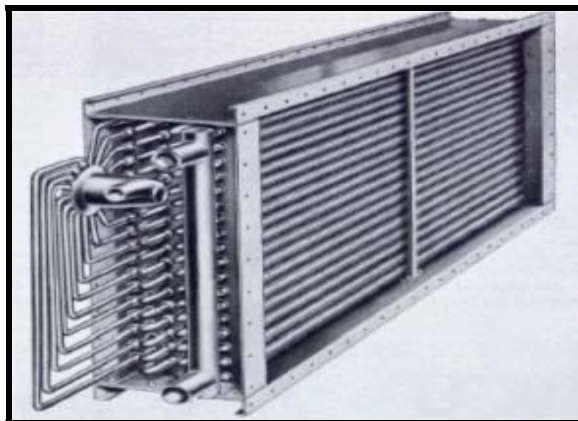


Figura 2.14 - Evaporador

Fonte: www.fem.unicamp.br/~em672/Ciclo_Refrigeracao_Refrigerantes.doc

O evaporador consiste de uma série de tubos, as serpentinas, que se encontram no interior do ambiente a ser resfriado. O fluido refrigerante sob forma líquida evapora-se nesses tubos, retirando calor do ambiente na passagem ao estado gasoso. Sob a forma gasosa, volta ao condensador pelo compressor, fechando assim o ciclo.

São fabricados em geral, de alumínio, visando uma boa transferência térmica, pois o evaporador é a parte do sistema de refrigeração onde o calor é absorvido. Sua estrutura possui também aletas, que têm como objetivo, aumentar a superfície de absorção de calor, melhorando dessa forma a eficiência do conjunto. É importante que as aletas mantenham uma distância entre si, para não impedir a passagem do ar, pois são elas que coletam o calor do ambiente, conduzindo-o para a serpentina onde o fluido refrigerante circula.

À medida que o refrigerante circula através das serpentinas há uma remoção de umidade do ar. A desumidificação está ligada ao processo de resfriamento do ar abaixo do ponto de orvalho, que produz condensação do vapor d'água contido no ar.[8]

4 - Válvula de expansão: é usada para regular o fluxo do refrigerante a fim de garantir que ele evapore totalmente na serpentina, além da redução da pressão do sistema e ainda controlar o superaquecimento constante do vapor que deixa a serpentina.

Superaquecimento é a diferença entre as temperaturas de saturação a uma determinada pressão, chamada pressão de saturação, do fluido refrigerante e a sua condição na saída do evaporador. Temperatura de saturação é aquela em que se dá a vaporização de um fluido (líquido).

As válvulas de expansão normalmente saem da fábrica já calibradas com superaquecimento de 5 a 6° C, considerando também uma ligeira queda de pressão

que sofre o fluido refrigerante durante o percurso entre a entrada e a saída do evaporador.[3]

No ciclo de refrigeração se o evaporador recebe líquido insuficiente ele evapora rapidamente e grande parte do evaporador fica inoperante.

Caso contrário se o evaporador receber líquido refrigerante em demasia, parte deste líquido pode passar pelo evaporador sem evaporar-se e ser conduzido ao compressor no estado líquido o que ocasionará danos a este componente.

As válvulas são classificadas como automáticas ou termostáticas. As válvulas automáticas são comandadas pela pressão enquanto que as termostáticas, figura 2.15 são controladas pela pressão e temperatura. [3]



Figura 2.15 - Válvula termostática

Fonte: <http://www.ultraval.com.br/valter.html>

5 - Tubo capilar: o tubo capilar é o dispositivo de expansão em um sistema de refrigeração. O refrigerante líquido que entra no tubo capilar perde pressão à medida que escoar por ele, em virtude do atrito e da aceleração do fluido.

A vazão pelo tubo capilar, figura 2.16, aumenta em virtude da diferença entre as pressões de condensação e evaporação. A pressão de evaporação não varia

livremente para uma dada pressão de condensação, devido às condições de transferência de calor no evaporador. Se as exigências de transferência de calor não forem satisfeitas pela condição de equilíbrio entre o tubo capilar e o compressor, pode resultar um processo transitório em que o evaporador seja alimentado em excesso ou alimentado deficientemente.[16]



Figura 2.16 - Tubos capilares

Fonte: http://www.termoclimarj.com.br/Figuras/Tubo_Capilar.jpg

O compressor e o dispositivo de expansão atingem uma condição de equilíbrio entre pressões de aspiração e de descarga que o compressor bombeia a quantidade exata de refrigerante com que o dispositivo de expansão alimenta o evaporador.[16]

Os tubos capilares apresentam vantagens e desvantagens. As vantagens estão em não apresentar partes móveis, serem baratos e simples. A desvantagem dos tubos capilares aparece na impossibilidade de regulação para satisfazer distintas condições de carga de refrigerante.

O tubo capilar é projetado para uma faixa de condições de operação, qualquer variação de carga térmica ou da temperatura de condensação em relação às do projeto acarreta uma redução de eficiência operacional. [16]

6 - Fluido refrigerante ou frigorigeno: em processos de refrigeração a substância empregada como absorvente de calor ou agente de esfriamento é chamada de refrigerante.[16]

Os fluidos frigorigenos são escolhidos atendendo às considerações:

- bom rendimento na produção do frio;
- pressão de condensação não muito elevada, nem pressão de vaporização abaixo da pressão atmosférica, para as temperaturas de funcionamento a que se destinam;
- terem um volume a deslocar compatível com o tipo de compressor adotado;
- serem atóxico e não inflamável;
- possibilitarem sua identificação no caso de fugas;
- serem de baixo custo.[4]

Abaixo estão alguns dos fluidos frigorigenos:

1. **Amônia (R-717):** possui baixo custo, é utilizada em grandes instalações industriais, dada a sua capacidade térmica, contudo é tóxica e sob certas condições, inflamável. A amônia pelas suas características de toxicidade pode ter seu uso desaconselhado. Como regra, sua utilização é restrita a instalações industriais onde a operação é supervisionada por técnico especializado.[8]
2. **Freon 12 (R-12):** não é tóxico, nem inflamável, nem corrosivo e nem explosivo. Altamente estável, contudo ataca a camada de ozônio. O seu efeito refrigerante é relativamente baixo, comparado com outros refrigerantes. Tende a ser substituído pelo R-134 a.[14]

3. **Freon 22 (R-22):** não é tóxico nem inflamável e muito empregado em ar condicionado. Tem maior capacidade térmica do que o R-12. [14] O R-22 é um HCFC (hidroclorofluorcarboneto), menos agressivo à camada de ozônio, sendo um fluido de transição cuja produção ficará limitada até o ano de 2014 [4].
4. **R-502:** é uma mistura do R-22 e do R-115. Não é tóxico, nem inflamável, contudo possui um alto custo.[6]
5. **R-134a:** é um HFC (hidrofluorcarbonetos), não é inflamável nem tóxico. É um refrigerante não prejudicial ao meio ambiente que evita a degradação da camada de ozônio. Ele é o refrigerante substituto do R-12, conforme tabela 2.1.
6. **R-404a:** é uma mistura de três refrigerantes(R-125, R-134a, R-143a) do tipo HFC. Não causa destruição da camada de ozônio. Tem baixa toxicidade, não é inflamável. Ele é o refrigerante substituto do R-502, conforme tabela 2.1.
7. **R-410a:** é o refrigerante substituto do R-22, conforme tabela 2.1. É uma mistura de dois refrigerantes do tipo HFC (R-32, R-125) que não causa destruição da camada de ozônio. Tem baixa toxicidade, não é inflamável. Possui melhores propriedades de troca térmica quando comparado com o R-22.

Tabela 2.1 - Refrigerantes substitutos

REFRIGERANTE NA INSTALAÇÃO - CFC	REFRIGERANTE SUBSTITUTO - HFC
R-12	R-134a
R-22	R-410a
R-502	R-404a

Fonte: [1]

Elaborados na década de trinta, os refrigerantes clorofluorcarbono ou CFC inovaram o campo da refrigeração pelo fato de atingir um ponto de ebulição extremamente baixo e de não ser tóxica nem inflamável, além de nenhum efeito nocivo conhecido. Atualmente é de conhecimento público e objeto de preocupação o que os CFCs causam na camada de ozônio.[4]

As Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio recebem a sigla (SDOs). Essa destruição representa um perigo significativo para o meio ambiente e a saúde humana, uma vez que níveis mais altos de radiação atingirão a superfície terrestre. A maior radiação ultravioleta, leva a maior incidência de câncer de pele, catarata nos olhos, compromete o sistema imunológico, ameaçando o equilíbrio ecológico.[9]

Diante da problemática, várias nações se mobilizaram, dentre elas o Brasil. Em 1985, a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio foi assinada por dezenas de países, entre eles o Brasil. Dois anos depois, foi estabelecido o Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, ligado às Nações Unidas. O texto obriga seus membros a trabalharem para eliminar a produção e o consumo de substâncias que destroem a camada de ozônio.

O Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio foi assinado em 1987 e visa proteger a camada de ozônio eliminando a produção e o consumo de substâncias responsáveis por sua destruição. [24]

O Brasil aderiu à Convenção de Viena e ao Protocolo de Montreal, por meio do [Decreto 99.280/06/06/1990](#) [26], comprometendo-se a eliminar completamente, até 2010, as substâncias prejudiciais à camada de ozônio. Além do CFC são consideradas nocivas à camada de ozônio o tetracloreto de carbono (indústria química) e o brometo de metila (agricultura).[24]

Não se produzem mais veículos e condicionadores de ar com CFC desde 1999, data em que o uso e a fabricação foram proibidos no Brasil. Mas para eliminar os CFC remanescentes, em 2002 o Governo Brasileiro apresentou ao Comitê-Executivo do Protocolo de Montreal o Plano Nacional para a Eliminação de CFC - PNC. A ação é baseada em treinamento e assistência técnica, implementação de novas tecnologias, mudanças legislativas e de processos industriais para reduzir ainda mais o uso e os estoques de gases agressivos ao meio ambiente. [24]

A substituição do fluido refrigerante em equipamentos que atualmente operam com CFCs, prática conhecida como retrofit, é uma técnica de destaque dentro do ramo da refrigeração, que tem mostrado ser uma alternativa bastante viável. Outra alternativa é a reciclagem dos CFCs, impedindo que ele seja liberado no meio ambiente e prejudique a camada de ozônio.[24]

No entanto, a técnica de substituição de fluidos alternativos exige cuidados especiais. Torna-se importante nestes casos, efetuar uma análise da possibilidade e viabilidade da substituição, antes de simplesmente buscar adquirir um novo equipamento, ou mesmo substituir alguma peça de um sistema frigorífico, sobretudo devido ao aumento no consumo de energia que esses equipamentos podem vir a apresentar. [24]

Após o Protocolo de Montreal, na perspectiva do desaparecimento dos CFCs e o aparecimento dos primeiros refrigerantes alternativos, o esforço dos fabricantes tem-se traduzido em investimentos no conhecimento dos fluidos ecológicos, na adaptação aos equipamentos existentes, e no desenvolvimento de equipamentos projetados para esses novos refrigerantes alternativos. As alternativas ecológicas teriam as seguintes propriedades:[4]

- Quimicamente estáveis.
- Não explosivos.
- Não irritantes.
- Não corrosivos.
- Não inflamáveis.

2.4.1.2 Ciclo de Refrigeração de Carnot

Os ciclos termodinâmicos utilizam procedimentos para a obtenção de refrigeração de maneira contínua. Esses procedimentos consistem em fazer com que o fluido refrigerante passe por uma série de processos, retornando ao seu estado inicial. Dentre os ciclos frigorígenos o ciclo de Carnot destaca-se por se tratar de um ciclo reversível (para a máquina ideal, idealizada por Carnot) que opera entre dois níveis de temperatura, proporcionando um maior rendimento.[8]

Em 1824, o cientista Nicolas Leonard Sadi Carnot idealizou uma máquina térmica que proporcionaria um rendimento máximo. Uma máquina térmica é um dispositivo que opera em um ciclo termodinâmico e produz trabalho enquanto recebe calor. De acordo com a segunda lei da termodinâmica o calor não pode ser convertido em trabalho completamente, portanto uma máquina não chega ao rendimento de 100% como propõe Carnot.

O Ciclo de Carnot é um ciclo ideal composto por processos reversíveis, alcançando desta forma uma eficiência máxima maior que qualquer ciclo real. Por processos reversíveis entende-se que todos os efeitos irreversíveis dentro do sistema foram minimizados.[5]

O Ciclo de Carnot consiste de duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas, sendo que todas elas seriam reversíveis. Funcionando entre duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas alternadamente, permite menor perda de energia (calor) para o meio externo. Para descrever um ciclo de Carnot, é necessário dispôr-se de duas fontes de calor, capazes de trocar calor com o sistema sem sofrer elas mesmas alterações de suas temperaturas.

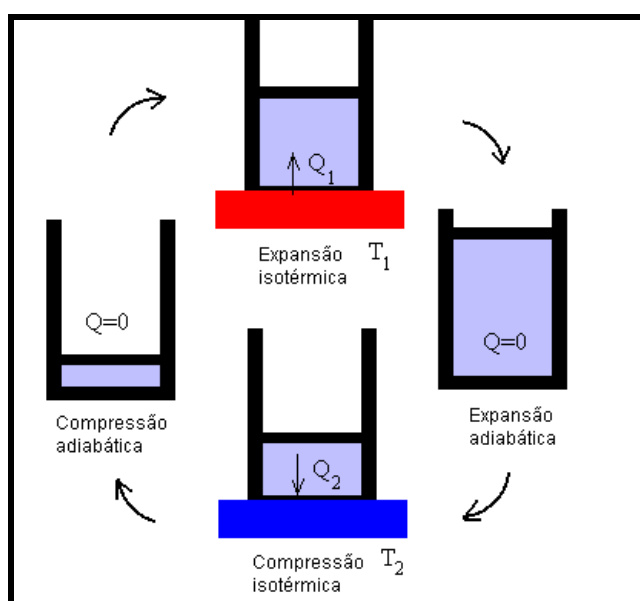


Figura 2.17 – Desenho esquemático de uma máquina de Carnot

Fonte: <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/estadistica/carnot/carnot.htm>

A máquina térmica de Carnot, esquematizada na figura 2.17 acima, é composta de uma fonte de calor, mantida à temperatura constante T_1 , destinada a fornecer as calorias de que o motor necessita para seu trabalho; de uma fonte de frio, também à temperatura constante T_2 (sendo T_2 menor que T_1), cuja função é retirar da máquina as calorias remanescentes de cada ciclo que não foram transformadas em trabalho; e do

fluido, colocado no interior de um cilindro, que se comprime e se distende, impulsionando um êmbolo. Q_1 representa a quantidade de calor recebida da fonte quente, a T_1 , enquanto Q_2 a quantidade de calor cedida à fonte fria, T_2 . O ciclo de Carnot, que é reversível, desenvolve-se em quatro fases, duas isotérmicas (primeira e terceira), a temperatura constante, e duas adiabáticas (segunda e quarta), a pressão constante.

O ciclo de refrigeração teórico considerado neste trabalho é o Ciclo de Carnot invertido, denominado de Ciclo de Refrigeração de Carnot.

Os processos do Ciclo de Refrigeração de Carnot são descritos a seguir e ilustrado na figura 2.18.

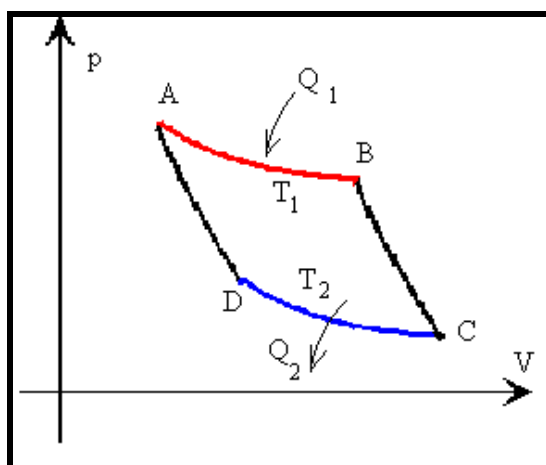


Figura 2.18 – Gráfico pressão x volume do Ciclo de Carnot

Fonte: <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/estadistica/carnot/carnot.htm>

D-C: Isotérmica a T_1 - ganho de calor a pressão constante (Evaporador)

A-D: Expansão Adiabática (Válvula de Expansão/ Tubo Capilar).

B-A: Isotérmica a T_2 .Rejeição Isotérmica de Calor (Condensador).

C-B: Compressão Adiabática (Compressor).

3 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DO RESFRIADOR DE AR

A seção 3.1 apresenta a bancada de ensaio com os seus componentes e instrumentos, enquanto na seção 3.2 esses componentes são detalhados juntamente com as ferramentas de medição. A seção 3.3 descreve os procedimentos e metodologias de ensaio, tendo os resultados desses ensaios apresentados na seção 3.4.

3.1 Descrição Geral da Bancada

Para o propósito do projeto foi construída uma bancada de ensaio. Essa bancada de ensaio opera num ciclo termodinâmico de refrigeração e é composta por compressor, condensador, evaporador, duto, tubo capilar, aletas, chicanas, filtro e pelos instrumentos de medição: termômetro e anemômetro. O fluido refrigerante utilizado é o R-22.

A referida bancada foi montada à partir de componentes de um sistema de ar condicionado tipo janela, compactado denominado *self contained*. A construção e a operação desta bancada é parte integrante do desenvolvimento deste projeto.

3.2 Descrição Detalhada da Bancada

3.2.1 Componentes e instrumentos da bancada

Os componentes da bancada, bem como as ferramentas de medição serão descritos nessa seção.

1 - Compressor: esse equipamento aspira e comprime o fluido refrigerante. O compressor utilizado é do tipo rotativo, conforme figura 3.2. No compressor está afixada uma placa na qual contém dados sobre o mesmo. De acordo com a figura 3.1, as informações são:

- Fabricante: Matsushita Electric Industrial Co. Ltda
- Potência: 1.320 VA
- Corrente: 6A
- Tensão: 208 a 230 V
- Frequência: 60HZ



Figura 3.1 - Placa do compressor



Figura 3.2 - Compressor da bancada

2 - Separadores de óleo: são dispositivos destinados a evitar que o óleo do compressor misturado com o refrigerante penetre no evaporador onde tenderia a ficar retido, conforme ilustrado na figura 3.3. O óleo separado é levado novamente ao compressor à custa da pressão do próprio sistema. Deste modo, o óleo fica retido no

separador, evitando a circulação do mesmo pelo sistema. Evita quebra do compressor por falta de lubrificação e garante a sua vida útil.

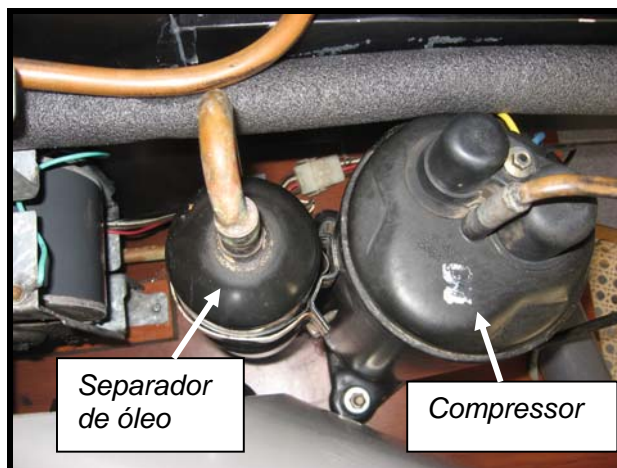


Figura 3.3 - Separador do óleo ao lado do compressor

A separação do óleo antes da entrada do fluido refrigerante no condensador melhora a transferência de calor por sensível redução da película de óleo nas paredes internas dos tubos do condensador e do evaporador.[18]

3 - Condensador: é um trocador de calor localizado na parte traseira da bancada e é constituído de um conjunto de tubos de cobre com aletas de alumínio, conforme figura 3.4. As aletas estão acopladas a esses tubos. O trocador de calor consiste em tubos de cobre em forma de serpentina, com diâmetros externo de 12,7mm e interno de 10,9mm e espessura de 0,09mm. O condensador é do tipo resfriado a ar e sua função é condensar o refrigerante comprimido por redução de calor.

Para o projeto em pauta o condensador utiliza como fluido frio o ar ambiente que é insuflado na serpentina aletada por intermédio de um ventilador axial, proporcionando um aumento da eficiência da troca térmica. O ar ambiente em contato com as paredes quentes do condensador se aquece; e o ar quente, por ser menos denso, sobe e dá

lugar ao ar frio que por sua vez também é aquecido e sobe, produzido então uma circulação pelo condensador. O ventilador direcionado para o condensador força essa circulação, acelerando o processo de troca térmica. É no condensador que o fluido refrigerante é condensado, passando do estado de vapor superaquecido para o estado líquido.

O condensador tem 600mm de comprimento e 390mm de altura, sendo constituído por serpentinas de cobre com diâmetro interno de 10,9mm e diâmetro externo de 12,7mm e espessura de 0,09mm. Há aletas de alumínio revestindo todas as serpentinas, com espessura de 0,2mm com espaçamento de aproximadamente 1,65mm uma da outra.



Figura 3.4 - Condensador da bancada

4 - Evaporador: esse equipamento possui construção semelhante ao condensador, porém o fluido refrigerante é expandido e circulado à baixa pressão. Ele é constituído de chapa galvanizada e é dotado de espirais de cobre com diâmetro interno de 10,9mm e diâmetro externo de 12,7mm e espessura de 0,09mm. O evaporador é constituído também por chicanas de chapa galvanizada, conforme figura 3.5. A introdução de chicanas foi necessária para interferir no fluxo do ar, aumentando o

tempo de exposição deste no trajeto visando melhorar a eficiência do trocador de calor. As chicanas desviaram o ar do percurso, obrigando-o a fazer curvas, o que levou ao aumento do trajeto do ar. O ar iria percorrer 1m, que corresponde ao tamanho do duto, e com as chicanas inseridas ele percorrerá 3,6m. Essas chicanas têm espessura de 0,06 mm e são 14 ao longo do duto, com espaçamento de 60mm uma da outra.

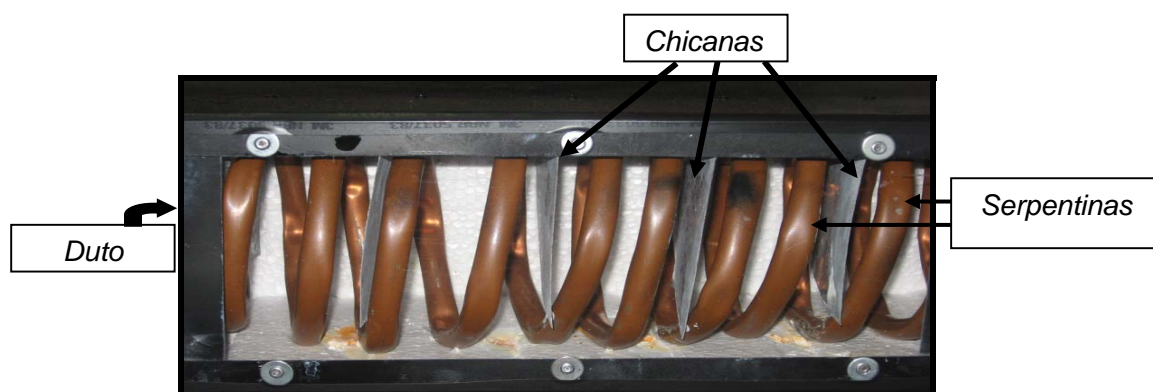


Figura 3.5 - Duto e evaporador da bancada

O evaporador foi construído especificamente para a realização destes testes, é um equipamento dedicado a promover a transferência de calor entre o ar e o refrigerante que apresentam temperaturas diferentes. Para se evitar a mistura desses fluidos, os dois escoamentos são separados pelas espiras de cobre. Neste caso a transferência de calor dos fluidos ocorre nas interfaces mútuas, então o evaporador é denominado trocador de calor por contato direto.

Os fenômenos de transferência de calor envolvidos são condução através da parede de tubo de cobre e convecção entre o ar e a parede externa do tubo de cobre, e o refrigerante e a parede interna do tubo de cobre.

O evaporador é alimentado pelo ventilador centrífugo, o qual capta o ar ambiente e insufla através das serpentinas do evaporador.

5 - Duto: possui formato retangular e é constituído por chapa galvanizada, com uma lateral em acrílico, para observação visual da parte interna do evaporador. As partes superior, inferior e traseira do duto foram construída de chapa de aço galvanizado e a parte frontal é de acrílico. O duto tem 1.000mm de comprimento, 140mm de altura, 140mm de largura. Para melhorar a eficiência térmica do evaporador foi utilizado um isolante na parte interna do duto. Esse isolante térmico é o isopor, sendo sua condutibilidade térmica baixa, ou seja $0,025 \text{ Kcal/h.m}^\circ\text{C}$ [A1], espessura de 10mm e 1.000 mm de comprimento. O isopor revestiu o duto nas partes superior, inferior e traseira.

A maior parte dos isolamentos é constituída por materiais de baixa condutibilidade térmica. As diferenças de temperatura conduzem forçosamente a um fluxo de calor, pois quanto maior for essa diferença maior é o fluxo de calor. Pode-se reduzir o fluxo de calor entre duas superfícies a temperaturas diferentes, introduzindo “barreiras” no trajeto do fluxo de calor.

Considerando a temperatura interna do isopor, igual à média das temperaturas internas medidas e tomando a temperatura externa do ambiente de teste, calcula-se o calor de condução através do isopor na parede lateral do duto, pela equação (2.1) da condução.

O isopor lateral tem 1m de comprimento e 0,14m de altura, portanto a sua área é de $0,14\text{m}^2$. Considerando as temperaturas internas de $0,4^\circ\text{C}$ e de $0,1^\circ\text{C}$, resultados do ensaio 2, o calor de condução vale $7,63 \text{ Kcal/h}$ e $7,77\text{Kcal/h}$, respectivamente. O calor trocado de condução com o isopor resultou em valores baixos. Sem o isolamento térmico o ganho de calor seria muito maior e este ganho atrapalharia a eficiência do sistema de refrigeração.

6 - Fluido refrigerante: é esse fluido que absorve calor do ar ambiente a fim de resfriá-lo. O fluido refrigerante utilizado é o R-22, conforme figura 3.6.

O escoamento do refrigerante no evaporador foi do tipo paralelo e cruzado. No escoamento paralelo os fluxos dos dois fluidos (ar e refrigerante) escoam em direção paralela e no mesmo sentido, enquanto no escoamento cruzado os fluxos dos dois fluidos ocorrem a um ângulo reto. [5]

A carga de refrigerante tem de ser exata. Com refrigerante em excesso o motor do compressor entrará em sobrecarga e com refrigerante de menos o sistema perderá a capacidade.



Figura 3.6 - Recipiente do refrigerante R-22

7 - Filtro-Tela: localizado na saída do condensador, o filtro é fabricado em cobre, constituído por uma fina tela, em forma cilíndrica, que faz a filtragem do refrigerante, antes de entrar no tubo capilar, conforme figura 3.7. O filtro interliga o tubo de saída do condensador com os capilares. O capilar está sujeito a entupimentos causados por contaminantes, devido ao seu pequeno diâmetro. Por isso é instalado um filtro

imediatamente antes deste, que impedem que substâncias estranhas sejam depositadas em seu interior.

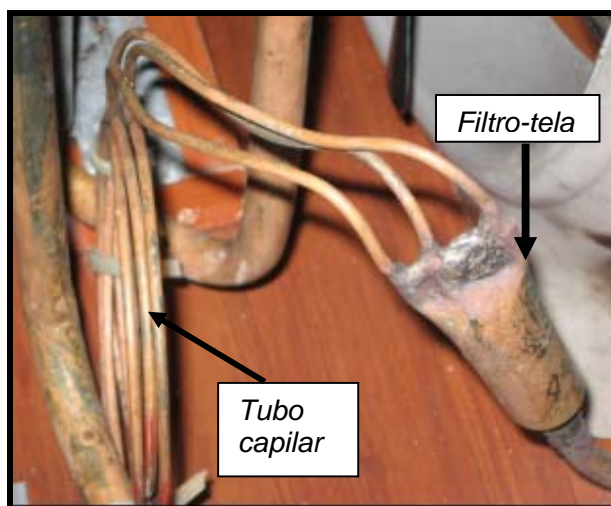


Figura 3.7 - Filtro-tela ao lado do tubo capilar

8 - Tubo capilar: foi o dispositivo de expansão utilizado na bancada. O tubo capilar é um tubo de cobre com diâmetro externo de 2,75mm, com o comprimento de aproximadamente 660mm.

Esse tubo tem como função baixar a pressão do sistema por meio de uma expansão e controlar o fluxo de refrigerante que chega ao evaporador.

Deve ser utilizado em sistemas perfeitamente limpos e isentos de umidade, pois impurezas e a umidade (por congelamento) podem obstruir o tubo capilar.

O comprimento do tubo capilar fornece a queda de pressão necessária, enquanto que pelo diâmetro é processado o controle de fluxo do refrigerante que chega ao evaporador.

9 - Aletas: a condutividade térmica do material da aleta possui um grande efeito sobre a distribuição de temperatura ao longo da aleta e, portanto, apresenta grande influência sobre o grau de melhora da taxa de transferência de calor. Idealmente, o

material da aleta deve possuir uma condutividade térmica elevada, de modo a minimizar a diferença de temperatura desde a sua base até a sua extremidade. No caso do projeto as aletas do condensador são de alumínio.

10 - Chicanas: essas chicanas têm espessura de 0,06mm e são 14 ao longo do duto.

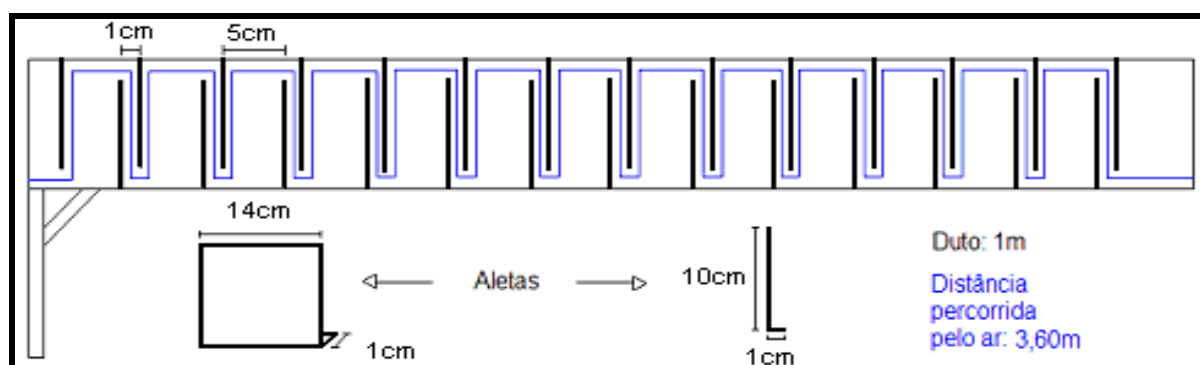


Figura 3.8 - Dimensão e disposição das chicanas no duto no início do projeto

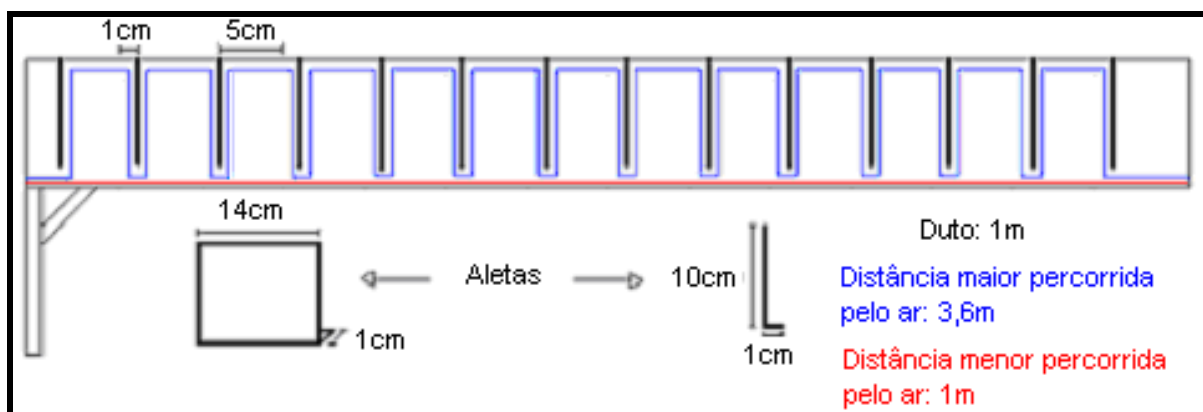


Figura 3.9 - Dimensão e disposição das chicanas no duto no final do projeto

O duto foi projetado para ter 27 chicanas alternadas na parte superior e inferior, aparecendo aos pares, mantendo um espaçamento 1cm ou 10mm entre si, conforme figura 3.8, porém, com essa distribuição a vazão de ar era mínima.

As chicanas funcionam como resistências opostas ao fluxo de ar resultando em perda de pressão, portanto com 27 chicanas dificultaria a passagem de ar, necessitando de um ventilador centrífugo com pressão estática maior para vencer as resistências e manter o fluxo de ar na vazão desejada. Foi necessário reduzir a quantidade para facilitar a passagem do ar, ficando o duto com 14 chicanas, de acordo com a figura 3.9.

11 - Ventilador centrífugo: é fixo em uma das extremidades do motor, onde succiona o ar ambiente, insuflando-o através do evaporador, que será direcionado pelas chicanas. Ilustrado na figura 3.11.

Um ventilador centrífugo consiste em um rotor, uma carcaça, um eixo e um motor, conforme figura 3.10. O ar entra no centro do rotor em movimento na entrada, e acelerado pelas palhetas é impulsionado para fora da abertura de descarga.

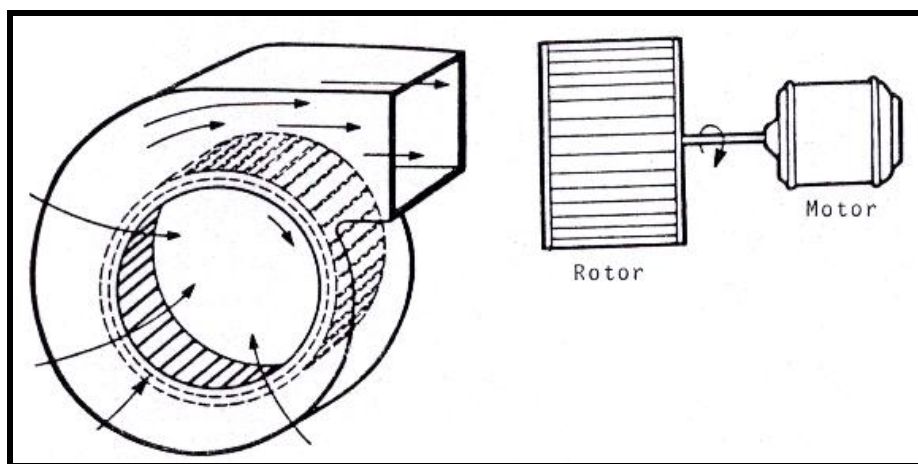


Figura 3.10 - Partes do ventilador centrífugo

Fonte: <http://www.asbrav.org.br/artigotecniconovo.asp>

A carcaça do ventilador centrífugo é uma estrutura grande, geralmente fabricada com chapas de aço, que é usada para guiar o fluxo de ar para a entrada do rotor de

maneira controlada. Ela pode ter uma entrada aberta, porém é mais comum ter um duto curvado em ângulo reto para permitir que o motor seja montado fora do duto.

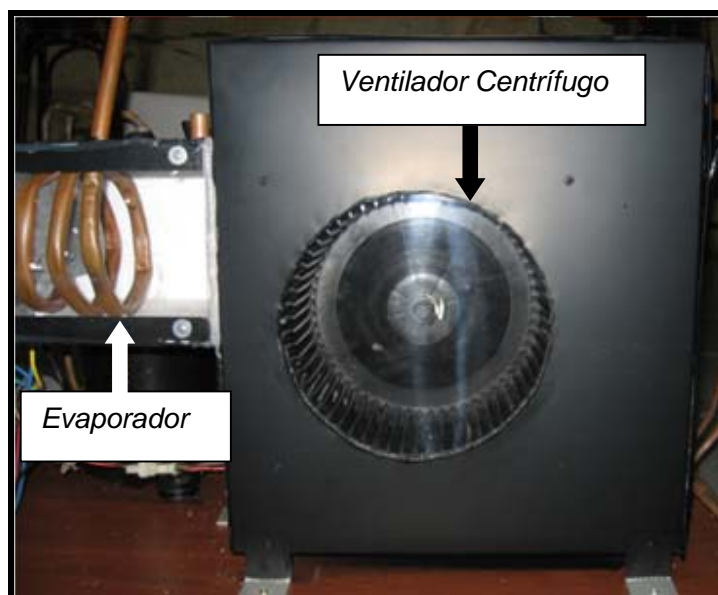


Figura 3.11 - Ventilador centrífugo pás pra trás da bancada

12 - Ventilador axial: sua função é ventilar o condensador e está ilustrado na figura 3.12.

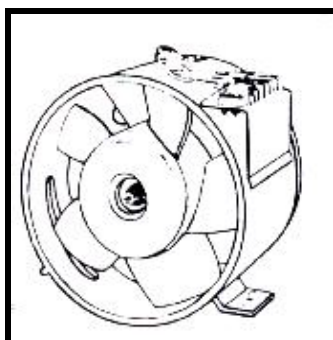


Figura 3.12 - Ventilador axial

Fonte: <http://www.asbrav.org.br/artigotecniconovo.asp>

É fixo na outra extremidade do eixo do motor e está envolvido pela câmara de ventilação. A câmara de ventilação é confeccionada em plástico e direciona todo o ar

do ventilador axial em direção ao condensador, a fim de obter o máximo rendimento e permitir a maior quantidade de ar a ser circulada.

13 - Motor dos Ventiladores: é um motor monofásico com capacitor permanente, que movimenta os ventiladores centrífugo e axial, conforme figura 3.13 a seguir.



Figura 3.13 - Motor dos ventiladores da bancada

Os ventiladores dotados de motores elétricos têm uma função muito importante em refrigeração, pois por meio deles são formadas maiores correntes de convecção no condensador, dissipando maior quantidade de calor, o que não aconteceria pela convecção natural.

Os fabricantes em geral fixam ao motor uma placa, conforme figura 3.14 a seguir, na qual são indicados dados referentes ao mesmo, tais como:

- Fabricante: EBERLE
- Potência: 1/8 CV ou 0,125CV ou 0,092KW
- Tensão: 220 V
- Intensidade da corrente: 1,2 A
- Frequência da corrente: 60HZ

- Rotações por minuto: 950/780

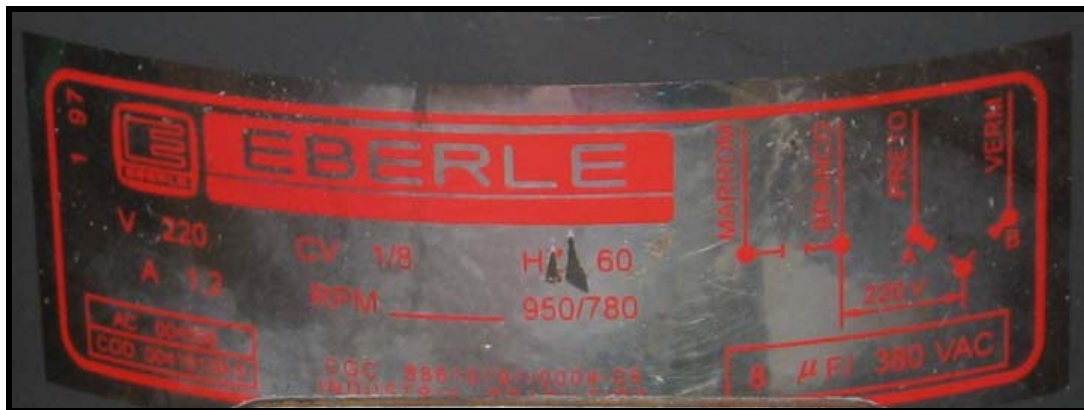


Figura 3.14 - Placa do motor do ventilador

14 - Termômetro: é o instrumento usado para medir temperatura. Nos ensaios ele será utilizado para medir as temperaturas de entrada e saída do ar, para as diferentes velocidades de insuflamento, além da temperatura do refrigerante na entrada e saída do compressor.

O método é considerado indireto, pelo fato do termômetro ter mira a laser não modificando as características do escoamento no trecho da medição.

O termômetro utilizado, conforme figura 3.15, é um instrumento digital portátil, com mira laser, LCD de 4 dígitos, congelamento de leitura, desligamento automático, alcance de 1,2m. Realiza medida de temperatura na faixa de -18°C a 260°C com uso do sistema de medida por irradiação infravermelho.[21]

Informações sobre características técnicas e parte elétrica do aparelho se encontram no anexo **A2** deste trabalho, e a ilustração do referido instrumento é apresentada na figura 3.15 a seguir.



Figura 3.15 - Termômetro - Modelo: MT-320

Fonte: <http://www.minipa.com.br/Produtos/Default.aspx?txtBusca=MT-320>

15 - Termo Higrômetro: é um instrumento digital portátil que realiza três leituras simultâneas, indicando os seguintes parâmetros: indicação de horas, medida de temperatura interna (ambiente em que se encontra o instrumento) de 0°C a 50°C e umidade relativa interna de 20% a 90%, conforme figura 3.16.[21] É um Instrumento essencial para os ensaios, pois as medidas de temperatura ambiente e umidade serão coletadas. Informações sobre características técnicas do aparelho se encontram no anexo **A3** deste trabalho.

Tanto o termômetro como o termo higrômetro, foram cedidos pelo UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, para a realização dos ensaios, sendo que o primeiro no Departamento de Engenharia e o segundo no Centro de Processamento de Dados da Instituição. Os respectivos departamentos informaram que estes instrumentos estão devidamente calibrados.



Figura 3.16 - Termo Higrômetro: Modelo MT-242

Fonte: <http://www.minipa.com.br/Produtos/Default.aspx?txtBusca=MT-242>

16 - Anemômetro: é o instrumento usado para medir a velocidade do fluxo do ar, que com a secção do escoamento permite calcular a vazão volumétrica. Nos ensaios este instrumento será utilizado para fazer as medições das velocidades de insuflamento do ar.



Figura 3.17 - Anemômetro

A vazão volumétrica trata do fluxo de um determinado volume em intervalo de tempo e sua unidade é m^3/s . [6]

O método é considerado indireto, uma vez que o anemômetro se encontra instalado externamente ao escoamento do ar, a medição ocorre sem modificação nas características do escoamento no trecho da medição.[6]

O anemômetro foi cedido pela Aeronáutica e está calibrado, conforme informação desse órgão.

O fabricante é a Thies Clima, uma empresa alemã com representantes no Brasil. O modelo acima, figura 3.17, não foi encontrado no site da empresa, portanto as especificações técnicas desse equipamento não são mencionadas nesse trabalho.

3.2.2 Instalação Elétrica da Bancada

A chave seletora está localizada na frente da bancada, representada no diagrama elétrico pelo número 6 e é responsável por ligar a unidade, permitindo selecionar as funções refrigerar ou ventilar. A chave comutativa tem como função controlar as velocidades mínima e máxima, identificada no diagrama, figura 3.18. pelo número 1. Na posição 1-2 a rotação é mínima e na posição 1-3 a rotação máxima, conforme figura 3.18.

Quando a chave seletora estiver na posição 6-4, apenas o sistema de ventilação estará em funcionamento, enquanto na posição 6-5, o sistema de resfriamento do ar entra em funcionamento.

Ao acionar a chave seletora para a função refrigerar o compressor entra em funcionamento e faz o refrigerante circular no sistema. O compressor utilizado na bancada é do tipo rotativo e possui baixo ruído e vibrações, além do menor consumo de energia. O consumo de energia é menor porque a sua mecânica de funcionamento garante menor atrito entre suas peças, o que diminui o esforço para cumprir sua função.

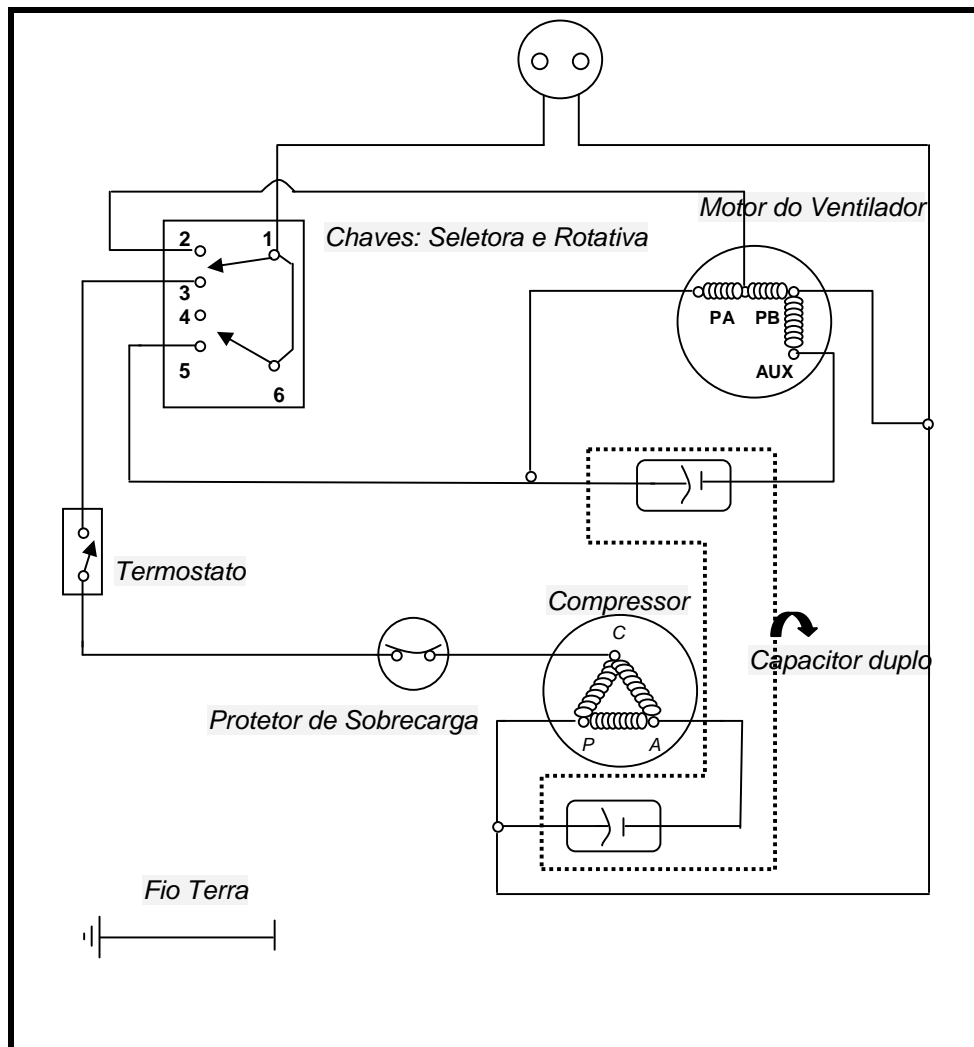


Figura 3.18 - Diagrama elétrico da bancada

Fonte:[3]

O sistema rotativo é composto por um rolete que gira em movimento excêntrico (que se desvia do centro) dentro de um cilindro, formando duas câmaras (sucção e descarga), separadas por uma palheta, conforme figura 3.19. A sucção e a compressão do fluido refrigerante ocorrem ao mesmo tempo e de forma contínua, proporcionando melhor desempenho e menor nível de ruído e vibração.[11]

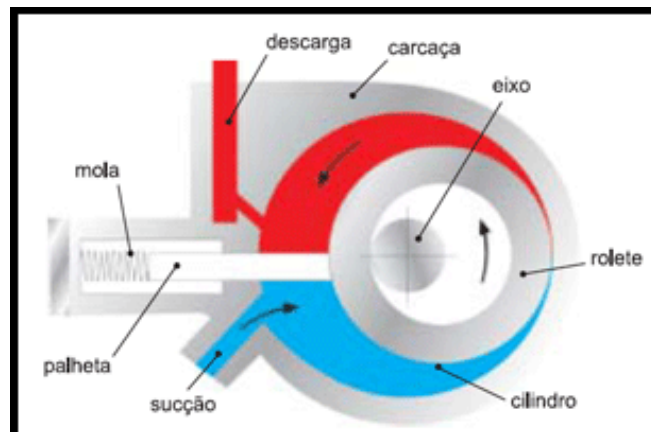


Figura 3.19 - Desenho Esquemático de um compressor rotativo

Fonte: <http://www.cca.ufam.edu.br/caema/dicas.html>

A carcaça dos compressores rotativos suporta o gás de descarga de alta pressão. O gás de sucção é puxado diretamente para dentro do cilindro do corpo, sendo comprimido e então descarregado na carcaça do compressor. Assim, o fluido refrigerante em alta pressão e alta temperatura, torna a carcaça do compressor rotativo mais quente.[11]

O compressor está ligado ao capacitor da bancada. Sua presença no sistema de refrigeração é muito importante, pois a energia elétrica necessária será fornecida em parte pelo capacitor e em parte pela instalação elétrica local.

O capacitor é formado de duas placas metálicas, separadas por um material isolante denominado dielétrico. Utiliza-se como dielétrico o papel, a cerâmica, a mica, os materiais plásticos ou mesmo o ar. Ligados a estas placas condutoras estão os terminais para conexão deste com outros componentes de um circuito elétrico.

Esse capacitor é um dispositivo de armazenamento de energia elétrica e é classificado como duplo por acionar tanto o motor dos ventiladores quanto o compressor.

O motor dos ventiladores é monofásico e movimenta os ventiladores axial e centrífugo, os quais insuflam ar para o condensador e o evaporador respectivamente.

Os motores elétricos têm uma função muito importante em refrigeração, pois por meio deles são formadas maiores correntes de convecção no condensador, dissipando maior quantidade de calor, o que não aconteceria pela convecção natural. Esse tipo de motor possui apenas um conjunto de bobinas e sua alimentação é feita por uma única fase de corrente alternada. Dessa, forma eles absorvem energia elétrica de uma rede monofásica e transformam-na em energia mecânica. [29]

São equipados com protetores térmicos de 130°C, evitando danos ou até a queima dos mesmos quando submetidos à queda de tensão ou sobrecarga.[19]

Os motores monofásicos são assim chamados porque os seus enrolamentos de campo são ligados diretamente a uma fonte monofásica. O motor monofásico utilizado na bancada é do tipo capacitor permanente onde o enrolamento auxiliar e o capacitor ficam permanentemente ligados. O efeito deste capacitor é o aumento do rendimento e do fator de potência, além de reduzir sensivelmente o ruído.[12]

A chave seletora está ligada também ao termostato, conforme visto no diagrama, e este ligado ao compressor. A função do termostato é impedir que a temperatura de determinado sistema varie além de certos limites preestabelecidos. Esse equipamento comanda as paradas e partidas do compressor e é constituído de um bulbo, um tubo capilar e contatos elétricos. O tubo capilar é preenchido de gás que pode ser dióxido sulfúrico, cloreto de metila, ou outros. Uma das extremidades deste tubo fica encostada no ponto onde se quer medir a temperatura, no caso da bancada ele está localizado na frente do ventilador centrífugo. A outra extremidade termina num diafragma de metal, que se apóia em um *balancim* (braço) com mola para acionamento do contato,

conforme figura 3.20. A variação de temperatura no tubo capilar provoca a dilatação/contração do gás em seu interior, movimentando o diafragma e acionando o contato. A regulagem da distância do contato ou da pressão da mola permitirá a alteração da temperatura de abertura do contato.

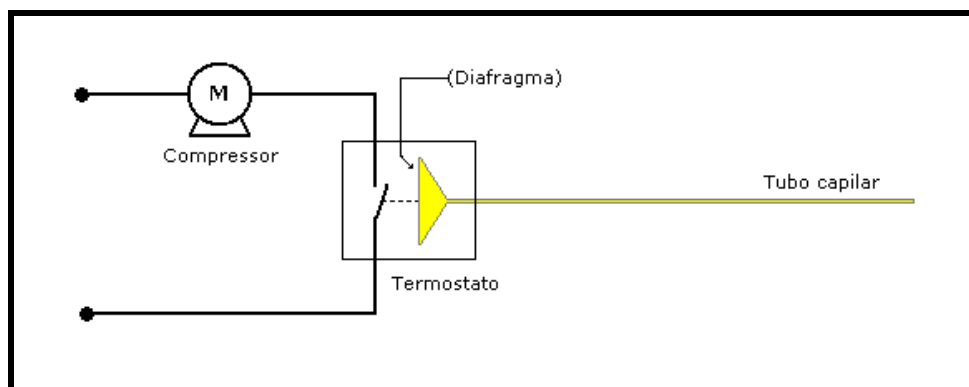


Figura 3.20 - Funcionamento do termostato

Fonte: <http://www.cjdinfo.com.br/Curiosidades/Termostato.asp>

O compressor recebe a alimentação elétrica através do termostato. Com isso o sistema estará funcionando, retirando calor do ambiente até alcançar a temperatura em que o termostato abra o circuito. Com o circuito aberto calor para de ser retirado. Quando a temperatura subir um pouco, os contatos se fecham novamente, o compressor volta a funcionar e o ciclo se reinicia. Desta forma consegue-se manter a temperatura dentro de uma faixa desejada. O termostato serve para controlar a temperatura do ambiente condicionado, desligando o compressor quando a temperatura atingir a temperatura selecionada, e religando-o novamente quando a temperatura estiver acima da temperatura desejada (refrigeração). [3]

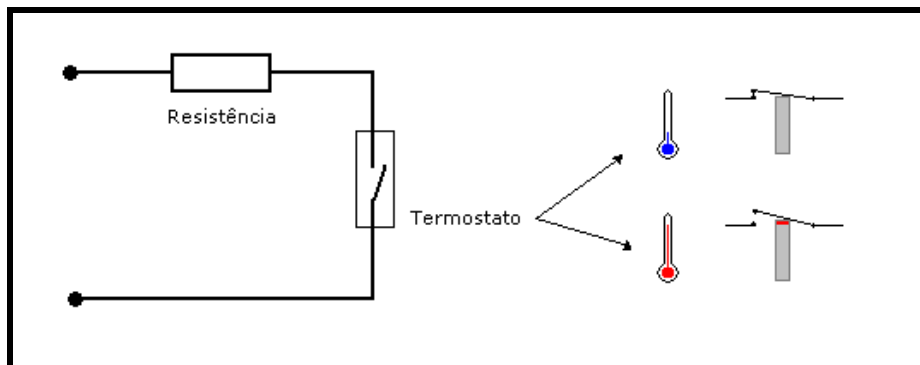


Figura 3.21 - Desenho esquemático de um termostato

Fonte: <http://www.cjdinfo.com.br/Curiosidades/Termostato.asp>

Conforme figura 3.21 acima, a resistência recebe a alimentação elétrica através do termostato. Com isso gera calor até alcançar a temperatura em que o termostato abra o circuito. Ela então pára de aquecer. Quando a temperatura cair um pouco, os contatos se fecham novamente, a resistência volta a aquecer e o ciclo se reinicia. Desta forma consegue-se manter a temperatura dentro de uma faixa desejada.

Os sistemas de refrigeração são equipados com dispositivos térmicos de segurança que protegem-no contra um excesso de corrente, representado pelo protetor de sobrecarga no diagrama. É ligado em série com o circuito que alimenta o compressor. Internamente são constituídos por dois tipos de metais com coeficientes de dilatação térmica diferentes. Um aquecimento sofrido por um excesso de corrente causará uma dilatação maior em um dos metais, abrindo o circuito.[14]

A bancada vem com o fio terra incorporado, identificado pelo fio de cor verde, fazendo parte do cabo de ligação do aparelho. Conforme prescreve a norma brasileira de instalações elétricas NBR5410, todos os circuitos de tomadas de uso geral e

também os que servem a aparelhos específicos (como chuveiros, ar condicionados, microondas, lava roupas, etc.) devem possuir o fio terra.

É prudente que as partes metálicas do aparelho que possam ser tocadas, sejam ligadas ao fio neutro ou terra. O solo terrestre é um semicondutor de eletricidade. Em certas situações, qualquer corpo que esteja em conexão com a terra terá o potencial desta, ou seja, não haverá diferença de potencial entre eles (corpo e terra), de modo que, não haverá circulação de corrente de um para o outro. Se um corpo estiver carregado ou sob um potencial diferente da terra, ao ser colocado em contato com ela, ele se descarrega.

3.3 Descrição dos procedimentos e metodologias dos ensaios

Os ensaios realizados tiveram como finalidade obter:

1. a funcionalidade da banca construída, tanto no modo ventilação como no modo condicionamento de ar, para vazões distintas;
2. o levantamento da capacidade de vazões de ar da bancada construída;
3. a capacidade de resfriamento do ar pela bancada, levantando as temperaturas de entrada e saída, permitindo a determinação do calor trocado para as duas velocidades de insuflamento de ar, para as duas condições de ensaio;

Esta fase de trabalho desenvolveu-se em ambiente particular utilizando-se os instrumentos de medições: termômetro, anemômetro e termo higrômetro. Reunidos todos os equipamentos da bancada de ensaio e ferramentas, deu-se início ao processo de preparação dos ensaios.

Antes de iniciar os testes a bancada ficou operando por 30 minutos, para observar a estabilidade das temperaturas do ar de saída.

Foram realizados dois ensaios, ambos com o ambiente a uma temperatura de 22,2° C e umidade relativa de 40% (dados obtidos pelo termo-higrômetro).

Os testes do sistema de ventilação foram realizados antes dos testes do sistema de refrigeração.

- **Ensaio 1:** Os testes foram realizados a fim de avaliar dois itens, o primeiro é a troca térmica e variação de temperatura apenas utilizando o sistema de ventilação em velocidades distintas, ocorridas no percurso do ar no duto do sistema e o segundo a avaliação da vazão volumétrica de ar dentro do duto.

Para determinar o calor trocado no trajeto foi necessário medir as temperaturas iniciais e finais para as duas velocidades de insuflamento. Conforme citado utilizou-se um termômetro digital, devidamente calibrado para as medições de temperatura. Um pequeno furo foi feito no início do duto a fim de realizar as medições das temperaturas iniciais, que após a coleta de dados foi tampado com uma rolha, enquanto a temperatura final foi medida na saída do duto.

Para o levantamento da vazão volumétrica nas velocidades máxima e mínima de insuflamento, foram realizadas medições das velocidades de escoamento do ar por meio do anemômetro. Nesse ensaio somente o sistema de ventilação esteve em funcionamento, ou seja, houve circulação de ar gerada apenas pelo ventilador centrífugo, sem utilizar outros equipamentos de refrigeração da bancada.

- **Ensaio 2:** Os testes aqui realizados, tiveram o mesmo objetivo do ensaio 1, ou seja, avaliar a troca térmica ocorrida no percurso do ar no evaporador e medir a vazão volumétrica de ar dentro do duto, entretanto, com o sistema de resfriamento do ar, ou

seja, de refrigeração operando. As ferramentas de medição continuam as mesmas do ensaio1, termômetro digital e anemômetro.

3.4 Resultados Obtidos

3.4.1 Ensaio 1 - Sistema de ventilação

Cada medida foi registrada cinco vezes e o resultado final foi a média aritmética das medidas. A bancada iniciou seu funcionamento 30 minutos antes da coleta de dados, ou seja, às 13:40h com apenas o sistema de ventilação em operação, sem utilizar outros componentes de refrigeração.

Às 14:10h iniciou efetivamente o ensaio 1, sendo que os primeiros dados foram coletados 5 minutos após o início e os demais a cada 5 minutos, portanto a duração destes testes foi de 25 minutos. A tabela 3.1 mostra os resultados do ensaio 1 realizado, tendo como objeto alvo o ar dentro do duto, considerando a velocidade mínima e a tabela 3.2, considerando a velocidade máxima de insuflamento de ar.

Existe uma relação entre a vazão volumétrica e a velocidade, onde a vazão é o produto entre a área e a velocidade.[7]

$$Q = A.V \quad (3.1)$$

- Q - vazão volumétrica (m^3/s)
- A - área de secção (m^2)
- V - velocidade de insuflamento (m/s)

A área da secção do duto é $0,0196m^2$, uma vez que a sua base e altura medem $0,14m$. A vazão é de $0,06m^3/s$ ou $216,00m^3/h$, considerando a velocidade mínima de $3,2 m/s$, e de $0,07m^3/s$ ou $252,00m^3/h$ para a velocidade máxima de $3,5m/s$.

Tabela 3.1 - Resultado do ensaio 1 para velocidade mínima

<i>Número de coletas</i>	<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	<i>Temperatura de entrada (°C)</i>	<i>Temperatura de saída (°C)</i>	<i>Gradiente de temperatura (°C)</i>	<i>Vazão volumétrica (m³/s)</i>
01	3,2	22,2	22,2	0	0,06
02	3,2	22,1	22,1	0	0,06
03	3,2	22,0	22,0	0	0,06
04	3,2	22,0	22,0	0	0,06
05	3,2	22,1	22,1	0	0,06
Média aritmética	3,2	22,1	22,1	0	0,06

Tabela 3.2 - Resultado do ensaio 1 para velocidade máxima

<i>Número de coletas</i>	<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	<i>Temperatura de entrada (°C)</i>	<i>Temperatura de saída (°C)</i>	<i>Gradiente de temperatura (°C)</i>	<i>Vazão volumétrica (m³/s)</i>
01	3,5	22,2	22,2	0	0,07
02	3,5	22,1	22,1	0	0,07
03	3,5	22,0	22,0	0	0,07
04	3,5	22,0	22,0	0	0,07
05	3,5	22,1	22,1	0	0,07
Média aritmética	3,5	22,1	22,1	0	0,07

3.4.2 Ensaio 2 - Sistema de refrigeração

Utilizando os mesmos critérios de coleta de dados, as medidas foram registradas cinco vezes e o resultado final será a média aritmética delas. As tabelas 3.3 e 3.4 mostram os resultados do ensaio 2.

Às 14:40h iniciou o ensaio 2 e da mesma forma que no ensaio 1 os primeiros dados foram coletados 5 minutos após o início e os demais a cada 5 minutos, portanto a duração foi de 25 minutos em ambos os ensaios.

Tabela 3.3 – Resultado do ensaio 2 para velocidade mínima

<i>Número de coletas</i>	<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	<i>Temperatura de entrada (°C)</i>	<i>Temperatura de saída (°C)</i>	<i>Vazão volumétrica (m³/s)</i>	<i>Vazão mássica (Kg/s)</i>	<i>Calor trocado (W)</i>
01	2,8	22,2	2,0	0,05	0,06	-1.217,86
02	2,6	22,1	1,0	0,05	0,06	-1.272,12
03	2,3	22,0	0,0	0,04	0,05	-1.105,31
04	2,3	22,0	-0,3	0,04	0,05	-1.120,39
05	2,3	22,1	-0,5	0,04	0,05	-1.135,46
Média aritmética	2,5	22,1	0,4	0,05	0,05	-1.170,23

Tabela 3.4 – Resultado do ensaio 2 para velocidade máxima

<i>Número de coletas</i>	<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	<i>Temperatura de entrada (°C)</i>	<i>Temperatura de saída (°C)</i>	<i>Vazão volumétrica (m³/s)</i>	<i>Vazão mássica (Kg/s)</i>	<i>Calor trocado (W)</i>
01	3,0	22,2	1,5	0,06	0,07	-1.456,00
02	2,8	22,1	0,5	0,05	0,06	-1.302,26
03	2,5	22,0	-0,3	0,05	0,06	-1.344,46
04	2,5	22,0	-0,5	0,05	0,06	-1.356,52
05	2,5	22,1	-0,8	0,05	0,06	-1.380,63
Média aritmética	2,7	22,1	0,1	0,05	0,06	-1.367,97

Sabendo que a área do duto é de $0,0196 \text{ m}^2$ e a velocidade mínima de $2,5 \text{ m/s}$, conforme a tabela 3.3, a vazão volumétrica é de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $180,00 \text{ m}^3/\text{h}$, se considerar a velocidade máxima de $2,7 \text{ m/s}$, de acordo com a tabela 3.4, o valor será de $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $180,00 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na movimentação de ar através de serpentinas do evaporador, a resistência varia à medida que ocorre congelamento sobre a superfície da serpentina uma vez que ela está submetida a baixas temperaturas.[8] Isso explica a redução da velocidade de escoamento do ar quando o sistema de refrigeração entra em operação. Um outro fator que explicaria a redução da velocidade está na equação da vazão mássica (4.2). Define-se vazão mássica o produto entre densidade e velocidade do ar e área da seção por onde passa esse ar. Durante o processo de refrigeração a temperatura cai, com

conseqüente aumento da densidade do ar, sendo a área da seção inalterada, a velocidade terá que ser reduzida para que a vazão mássica permaneça a mesma.

Durante o ensaio foram registrados os valores das temperaturas do refrigerante R-22 na entrada e saída do compressor, conforme tabela 3.5 a seguir.

Tabela 3.5 – Temperatura do refrigerante na entrada e saída do compressor

<i>Temperatura de entrada (°C)</i>	<i>Temperatura de saída (°C)</i>	<i>Gradiente de temperatura (°C)</i>
-4,5	26,5	31,0

Esses valores foram plotados no diagrama pressão versus entalpia do R-22, figura 3.22, e pela projeção desses pontos em direção ao eixo da abcissa foi possível identificar o valor da entalpia correspondente a cada temperatura, identificada no diagrama pelas linhas tracejadas. Sendo a entalpia de 403,7 KJ/Kg [6] na temperatura de -4,5°C e de 413,7 KJ/Kg [6] na temperatura de 26,5°C.

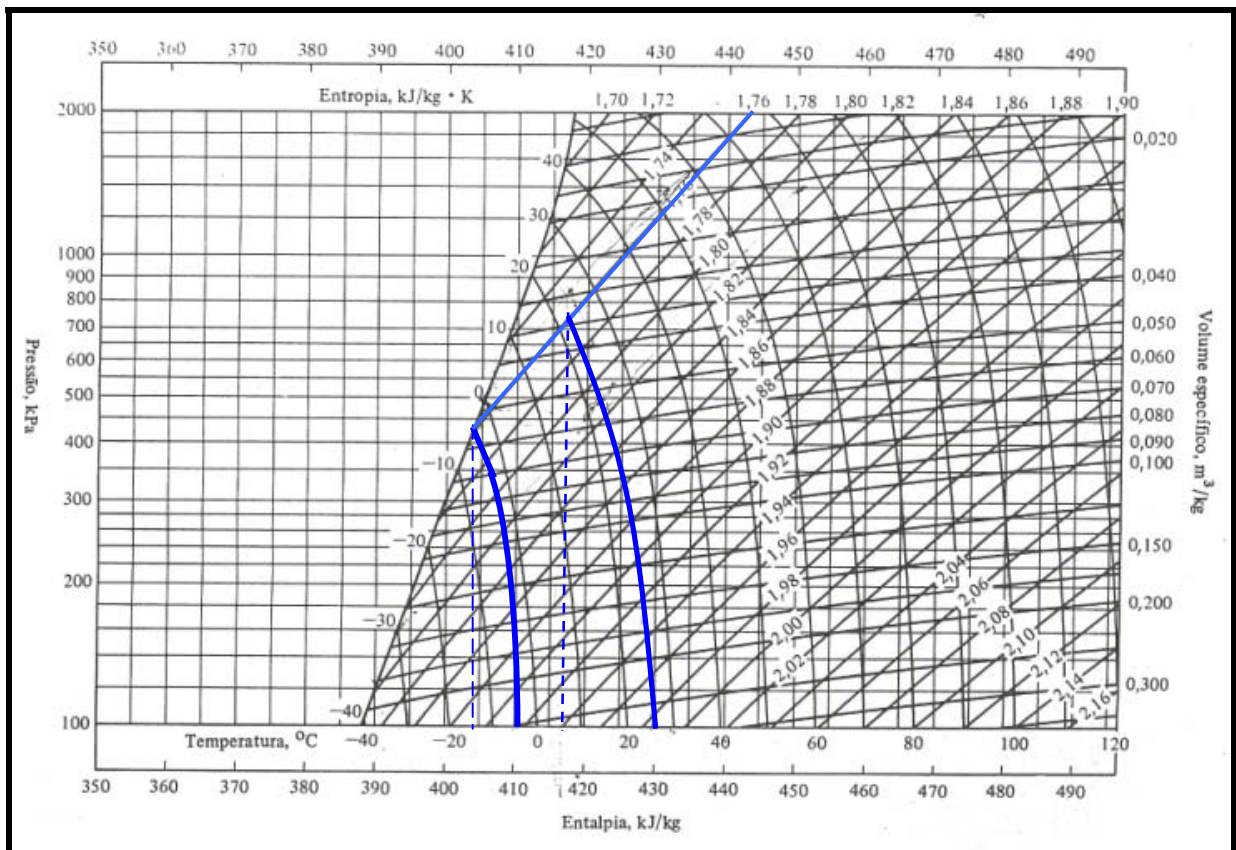


Figura 3.22 - Diagrama pressão x entalpia do R-22

Fonte:[6]

Ainda no ensaio 2, foram coletadas pelo termo-higrômetro as medidas de umidade, conforme tabela 3.6, utilizando as duas velocidade de rotação do ventilador, máxima e mínima, no início de no final dos 25 minutos de funcionamento do sistema de refrigeração. Pode-se observar que a umidade ambiente e a umidade de saída do duto não se alteraram com as mudanças de velocidade, ou seja, para as velocidades mínima máxima as umidades foram as mesmas.

Tabela 3.6 – Variação da umidade relativa

<i>Velocidade mínima (m/s)</i>	<i>Velocidade máxima (m/s)</i>	<i>Umidade ambiente (%)</i>	<i>Umidade saída do duto (%)</i>
2,3	2,5	40	32

Na carta psicrométrica, figura 3.23, foram plotados pontos das temperaturas de entrada e de saída do ensaio 2. O traço azul corresponde à temperatura de entrada, 22°C, tanto na velocidade mínima de insuflamento quanto na máxima à umidade relativa de 40%. Enquanto os traços rosa e verde representam as temperaturas de saída, 0,4°C e 0,1°C, nas velocidades mínima e máxima respectivamente, à uma umidade relativa de 32%. Por meio desses pontos é possível calcular a perda de umidade relativa, pelas linhas tracejadas na carta psicrométrica. A umidade inicial era 7g por Kg de ar seco, correspondente à linha tracejada azul, e passou para 1g por Kg de ar seco, linha tracejada vermelha, no final do processo de refrigeração.

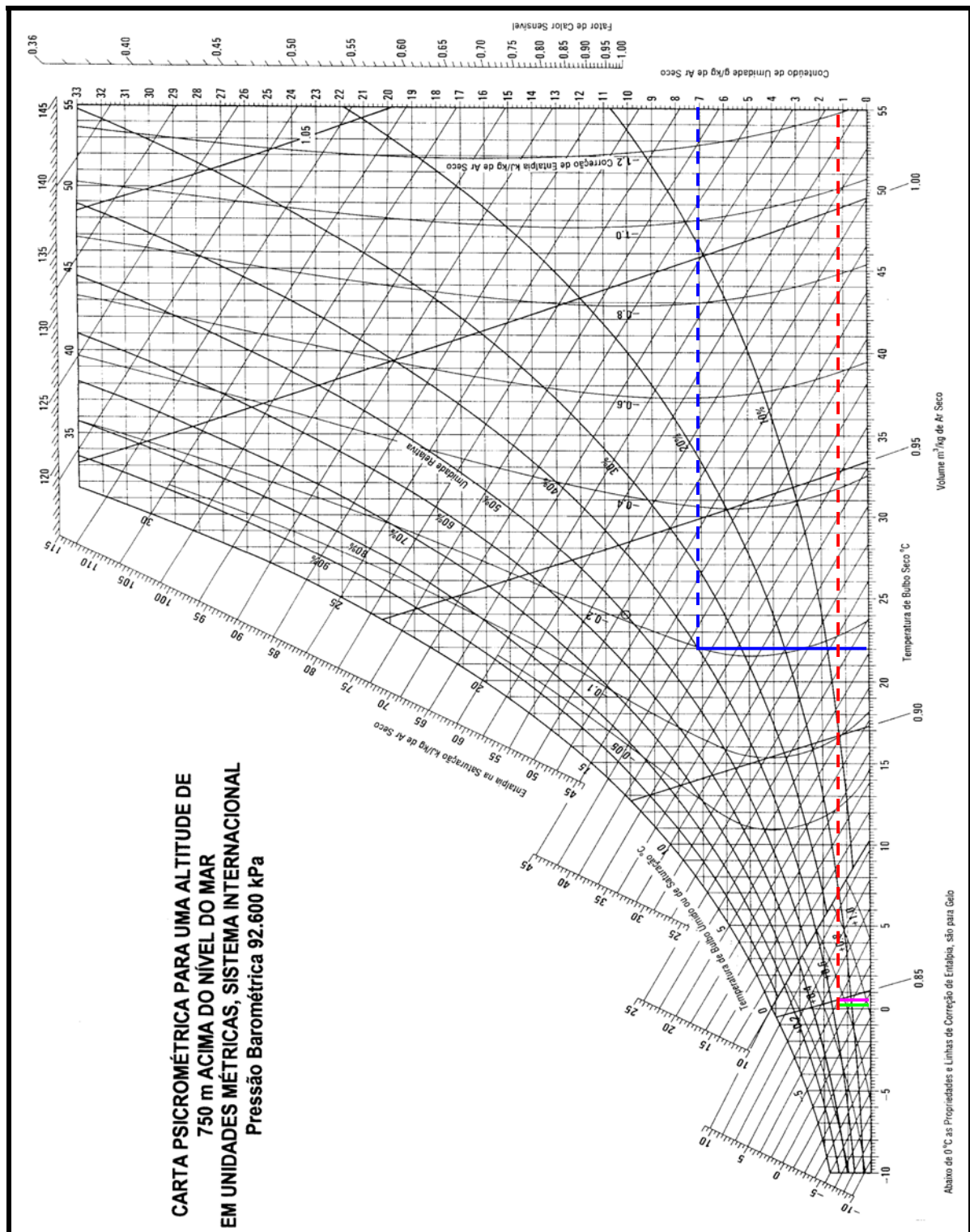


Figura 3.23 - Carta Psicrométrica para altitudes de 750m

Fonte: http://fatec.org/v02/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=13&Itemid=26

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A seção 4.1 realiza a análise técnica de eficiência aplicada à bancada de ensaio e a seção 4.2 traça uma análise comparativa dos resultados obtidos, no capítulo anterior, entre o sistema de ventilação e o sistema de refrigeração.

4.1 Análise técnica da Eficiência Energética

A eficiência energética do aparato será a razão entre o calor transferido e a capacidade do aparelho.

Sendo o calor transferido calculado pela seguinte fórmula:

$$q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

- q - taxa de calor transferido (W)
- \dot{m} - vazão mássica do ar (Kg/s)
- c_p - calor específico do ar: 0,24 cal/g°C [A4]
- ΔT - gradiente de temperatura do ar (°C)

A vazão mássica do ar (\dot{m}) é obtida pela fórmula:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \quad (4.2)$$

- ρ - densidade do ar (Kg/m³)
- V - velocidade de insuflamento (m/s)
- A - área de secção (m²)

Utilizando os resultados do ensaio 2, tabelas 3.3 e 3.4, sendo a densidade do ar 1,2 Kg/m³ [6], temos \dot{m} igual a 0,059 Kg/s para a velocidade mínima de insuflamento de

ar (2,5m/s) e \dot{m} igual a 0,063 Kg/s para a velocidade máxima de insuflamento de ar (2,7m/s).

Empregando a fórmula de calor transferido e substituindo os resultados do ensaio 2, tabelas 3.3 e 3.4, o calor transferido (q), considerando a velocidade mínima de insuflamento de ar, será de -312,48 cal/s, o que resulta em -1.308,29W ou -1,308 KW, uma vez que 1cal é 4,1868 J e que 1J/1s é igual a 1W. Para a velocidade máxima de insuflamento de ar o calor transferido é de - 316,80 cal/s ou - 1.326,38 W ou ainda 1,326 KW. O calor transferido (q) deu negativo evidenciando que houve retirada de calor do ar durante a trajetória no duto da bancada.

O *self contained* utilizado tem a capacidade de 21.000 BTU/h e para converter o BTU/h para W, basta multiplicar por 0,2930667 [6], portanto a capacidade é de 6.154,40 W. Sendo a eficiência energética do aparato a razão entre o calor transferido e a capacidade do aparelho, deduz-se a eficiência do aparelho. A eficiência energética é de 0,21 ou 21% tanto para a velocidade mínima quanto para a velocidade máxima.

4.2 Análise comparativa do sistema de ventilação com o sistema de resfriamento

Em relação ensaio 1, considerando as velocidades mínima de 3,2 m/s e a máxima de 3,5 m/s, uma diferença de 9,3% entre uma e outra, o resultado da vazão volumétrica foi de 0,063 m³/s para 0,069 m³/s, tendo um ganho proporcional ao aumento da velocidade.

Da mesma forma sucedeu com o ensaio 2, com a mudança da velocidade mínima de 2,5 m/s para a velocidade máxima 2,7 m/s, uma diferença de 8%, gerou um

aumento da vazão volumétrica de 0,049 m³/s para 0,053 m³/s. Os gráficos representados pelas figuras 4.1 e 4.2 evidenciam os resultados mencionados.

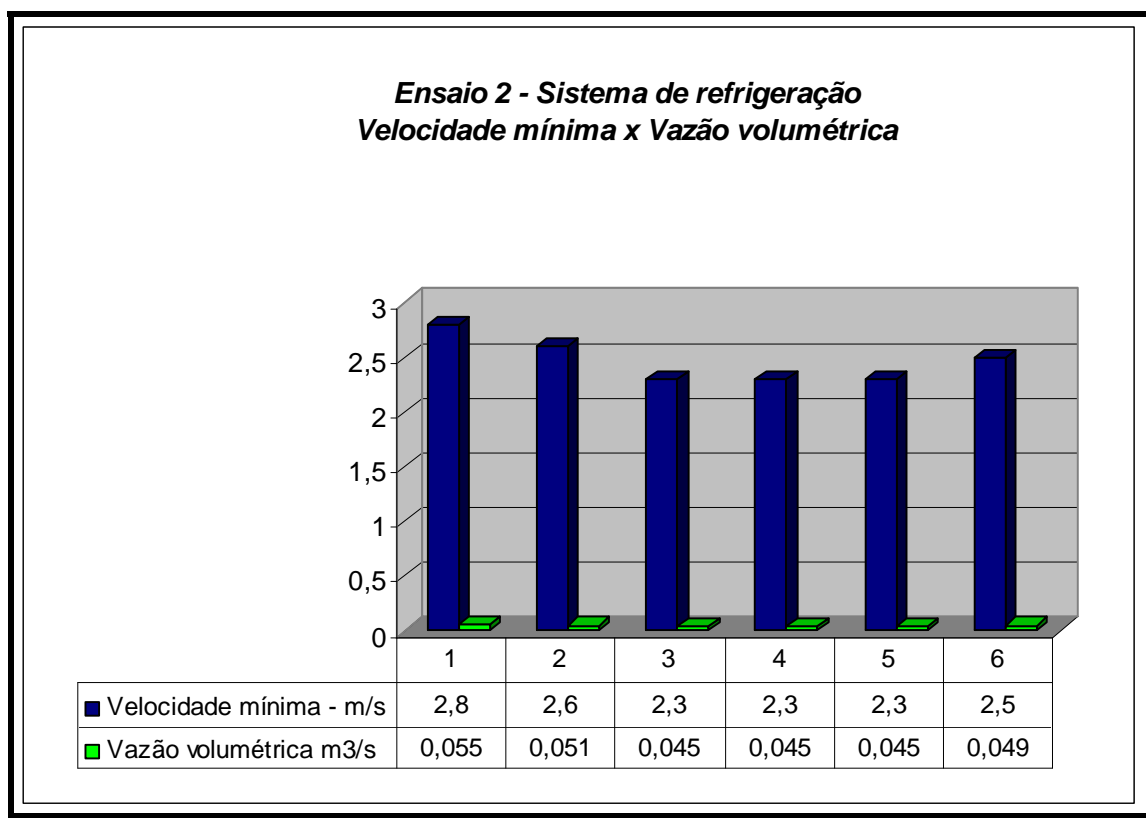


Figura 4.1 - Ensaio 2: Velocidade mínima x Vazão volumétrica

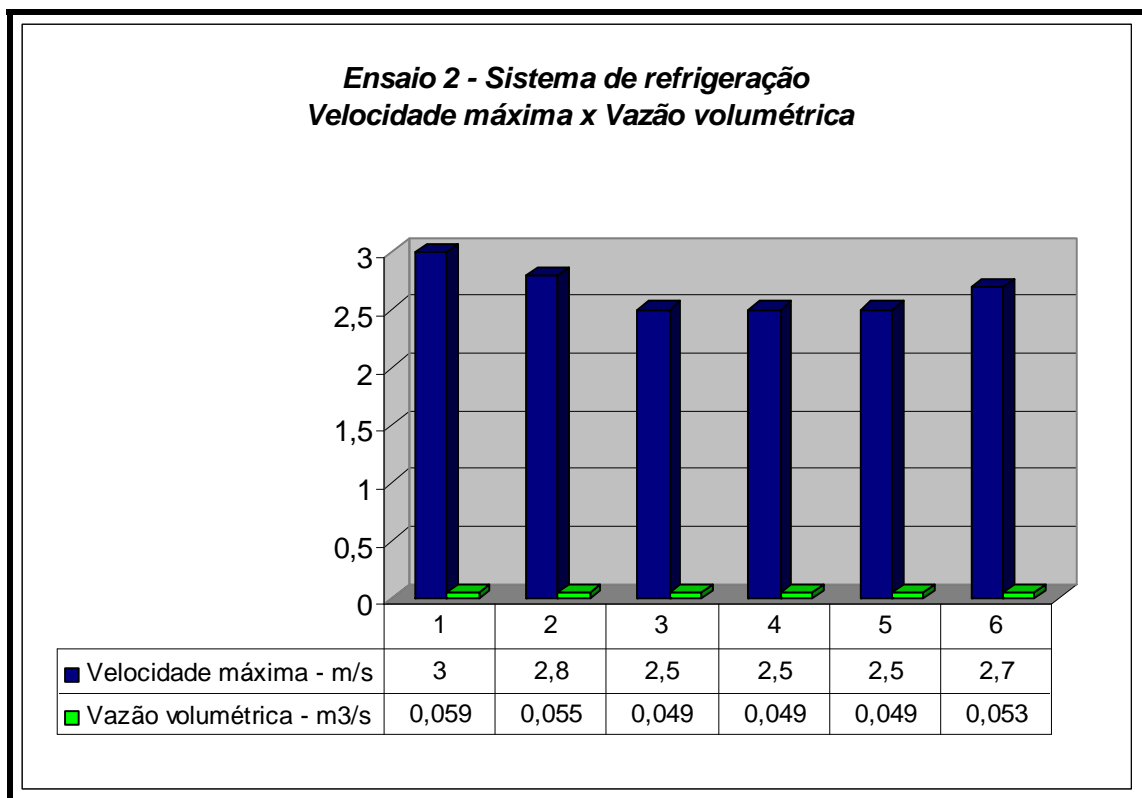


Figura 4.2 - Ensaio 2: Velocidade máxima x Vazão volumétrica

As tabelas 3.1 e 3.2 do ensaio 1, evidenciam que não houve troca térmica no percurso do ar dentro do duto, ou seja, os valores de temperatura de entrada do ar foram os mesmos da temperatura de saída.

Enquanto que no ensaio 2, a troca térmica entre o ar e o fluido refrigerante ocorreu significativamente, conforme evidenciado nas figuras 4.3 e 4.4 abaixo, e cresceu quando passou da velocidade mínima para a velocidade máxima.

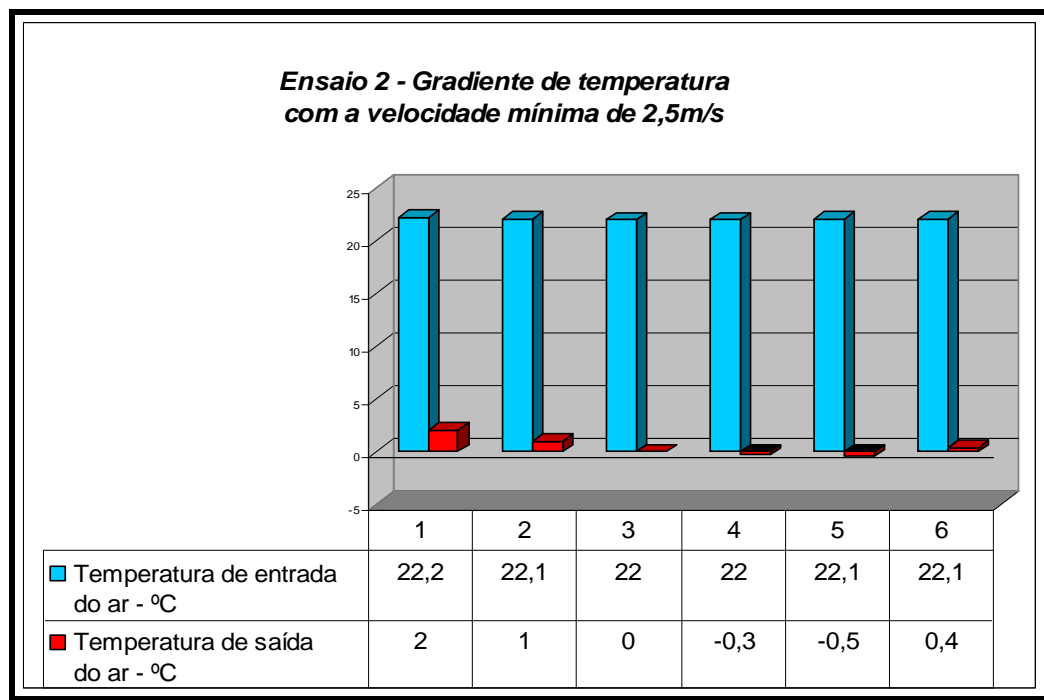


Figura 4.3 - Ensaio 2: Velocidades mínima x Temperatura

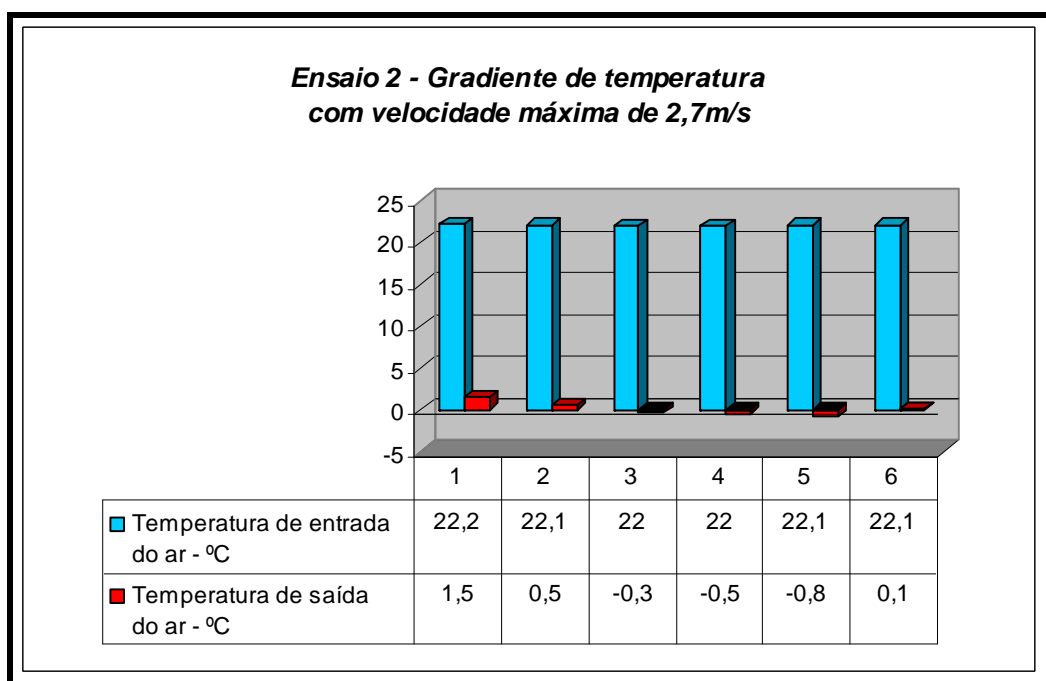


Figura 4.4 - Ensaio 2: Velocidades máxima x Temperatura

A vazão volumétrica de ar foi maior no sistema de ventilação do que no sistema de refrigeração, atingindo seu ápice na velocidade máxima do primeiro sistema citado.

No que se refere à troca térmica entre o ar e o fluido refrigerante a bancada apresentou ser mais eficiente na velocidade máxima tendo o sistema de refrigeração em operação.

A bancada operou de forma satisfatória comprovada pelos resultados, pois houve uma expressiva redução de temperatura do ar insuflado em virtude da atuação dos sistemas de refrigeração da bancada, alcançando assim o objetivo geral.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na seção 5.1 são apresentadas as conclusões do projeto. Na seção 5.2 são apresentadas as dificuldades encontradas ao longo de todas as etapas do projeto e por fim a seção 5.3, onde são apresentadas algumas sugestões de aperfeiçoamento desse projeto e que podem servir como tema para projetos futuros.

5.1 Conclusão

As pesquisas bibliográficas, o desenvolvimento da bancada bem como os ensaios realizados permitiram as seguintes conclusões:

- A bancada construída atendeu ao proposto de realizar testes de ventilação e condicionamento de ar, conforme os resultados obtidos nos capítulos 3 e 4 deste trabalho.
- A fundamentação teórica foi atingida na sua plenitude conforme apresentado nos capítulos 1 e 2.
- A análise técnica da eficiência do aparato foi realizada, demonstrada no capítulo 4 deste trabalho, levando a resultados práticos de eficiência de 21%.
- As perdas de calor sofridas pelo ar ambiente foram calculadas no capítulo 3, uma vez que as temperaturas de insuflamento e saída do ar foram medidas, considerando duas velocidades de escoamento.
- Os resultados dos ensaios realizados foram apresentados no capítulo 4 e atenderam aos objetivos específicos de realização dos testes.

- A comparação dos sistemas de ventilação e condicionamento de ar utilizando o sistema de refrigeração foi atingido conforme apresentado nos capítulos 2 e 4. No capítulo 2 foi apresentado a parte teórica de cada sistema descrevendo sobre suas funções e particularidades e no capítulo 4 foram realizados os ensaios comparativos.

Portanto, os resultados esperados atenderam à proposta de trabalho, e a bancada experimental com finalidades didáticas encontra-se construída e operando adequadamente.

5.2 Dificuldades Encontradas

Foram encontrados alguns obstáculos para a construção da bancada. Primeiro na construção do evaporador, visto que as espiras de cobre foram enroladas manualmente. Posteriormente, descobriu-se que há entre os técnicos de refrigeração uma mola apropriada a retorcer tubos de cobre. Portanto, as espiras não ficaram tão simétricas durante a sua confecção, mas esta assimetria não atrapalhou a sua eficiência.

A outra dificuldade encontrada foi em conseguir uma vazão volumétrica de ar suficiente para realizar os testes. Projetou-se o duto contendo 27 chicanas dispostas alternadamente na parte inferior e superior, mantendo espaçamento entre elas a fim de não impedir a passagem do ar. Contudo, na fase dos testes foi observado que a vazão de ar era tão mínima que o anemômetro não fazia nenhuma medição. Então foi necessário reduzir a quantidade de chicanas, ficando o duto com 14 na parte superior, sendo assim possível realizar as medições de velocidade de escoamento do ar.

Um outro empecilho ao desenvolvimento do trabalho foi encontrar bibliografia referente à parte elétrica da bancada. Encontrar material sobre o funcionamento elétrico de cada componente para fazer a interligação elétrica entre eles foi trabalhoso. Em função da parte elétrica não ser o foco desse trabalho, o mesmo não ficou deficiente de informações.

Várias peças da bancada são do aparelho de ar condicionado tipo janela e modelo Air Master 21.000BTU da empresa Cònsul, fabricado na década de 90. Encontrou-se no site da Cònsul poucas informações técnicas acerca dos componentes desse tipo de ar condicionado, que inclusive se encontra no anexo **A5** deste trabalho. Não havia disponível nem o manual técnico do equipamento disponível no site.

5.3 Sugestões para projetos futuros

Espera-se que a bancada possa ser útil na realização de projetos futuros, e contribuir para o desenvolvimento de disciplinas neste segmento. Para continuidade do projeto aconselha-se:

- acrescentar ao evaporador um dreno para a água gerada no processo de refrigeração;
- reduzir as dimensões do protótipo, a fim de ocupar menos espaço;
- acrescentar um controle remoto que possua ajuste de temperatura, a fim de ajustar com precisão a temperatura desejada para o ambiente;
- estudar o circuito em contra-corrente a fim de avaliar as diferenças de eficiência do sistema;

- e por fim instrumentar a bancada com sensores, além da aquisição de dados via software.

6 REFERÊNCIAS

- [1] COSTA, Ennio C. da **Física Aplicada à Construção: Volume 4**. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
- [2] CREDER, Hélio **Instalações de Ar Condicionado: Volume 1**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- [3] MENDES, Luiz Magno de Oliveira **Refrigeração e Ar Condicionado: Volume 1**. Rio de Janeiro: Tecnoprint S.A, 1984.
- [4] MONTEIRO, Victor **Novas Técnicas de Refrigeração Comercial em Hotelaria: Volume 1**. Lisboa: Lidel, 2001.
- [5] SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH Carl H. **Introdução às Ciências Térmicas: Volume 2**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.
- [6] SOUZA, Zulcy de; BORTONI, Edson da C. **Instrumentação para Sistemas Energéticos e Industriais: Volume 1**. Itajubá: Editora do Autor, 2006.
- [7] STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e Ar Condicionado: Volume 1**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.
- [8] STOECKER, W.F; JABARDO, J.M.Saiz **Refrigeração Industrial: Volume 1**. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.
- [9] ANEEL **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei20009991.pdf> >. Acesso em: 15 mai. 2008.

[10] ANVISA **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=17550&word> >. Acesso em: 05 jun.2008

[11] CCA UFMA **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.cca.ufam.edu.br/caema/dicas.html> >. Acesso em: 08 mai. 2008.

[12] Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.cefetsc.edu.br/vnoll/Motores%20de%20Inducao.htm#Tiposmotores> >. Acesso em: 27 mai. 2008.

[13] Danfoss **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/3174B53D-A6B7-431B-ABD9-3E94C43B975F/0/SeparadoresDeOleo.pdf> >. Acesso em: 13 mai. 2008.

[14] Eletrodomésticos Fórum **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < http://www.eletrodomesticosforum.com/curso_refrigeracao2.htm >. Acesso em: 14 mai. 2008.

[15] Geocities **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < http://www.geocities.com/Athens/Troy/8084/Vent_exa.html >. Acesso em: 01 jun.2008.

[16] Inácio, Mateus Mesquita. **Estudo da Capacidade Calorífica de um Refrigerador** p.23.2000. Disponível em: < http://143.54.70.111/diplomacao/2000_mateus_inacio.pdf > Acesso em: 03 jun. 2008.

[17] Jesus, Marcos Fábio de; Silva, Gabriel Francisco da, **Programa para Estimativa das Propriedades Psicrométricas**, Campina Grande, p.9, 2002. Disponível em: < <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev41/Art419.pdf> >. Acesso em: 02 jun. 2008.

[18] Megaclima **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < www.megaclima.pt/megaclima-pt/html/produtos_ar_industrial.htm >. Acesso em: 15 mai. 2008.

[19] Metalcorte **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.metalcorte.com.br> > Acesso em: 27 mai. 2008.

[20] Metalplan **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.metalplan.com.br/geracao.asp> >. Acesso em: 02 jun. 2008.

[21] Minipa **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.minipa.com.br> >. Acesso em: 01 mai. 2008.

[22] MSPC Informações Técnicas **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < http://www.mspc.eng.br/fldetc/topdiv_vent_10.shtml >. Acesso em: 01 jun. 2008.

[23] Presidência **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/legislacao/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm >. Acesso em: 15 mai. 2008.

[24] Protocolo de Montreal **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://www.protocolodemontreal.org.br/> >. Acesso em: 01 mai. 2008.

[25] Schneider, Paulo, **Termometria e Psicrometria**, Porto Alegre, p.25, set. 2005. Disponível em < <http://www.geste.mecanica.ufrgs.br/pss/medterm/termometria.pdf> > Acesso em: 02 jun. 2008.

[26] Senado **[Home Page]**. 2008. Disponível em: <<http://www6.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=111358> >. Acesso em: 05 jun. 2008.

[27] Universidade Federal do Paraná **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-5.html> >. Acesso em: 02 jun. 2008.

[28] WEBMECAUTO **[Home Page]**. 2008. Disponível em: < http://www.webmecauto.com.br/comofunciona/cf06_01blower.asp >. Acesso em: 02 jun.2008.

[29] WIKIPEDIA [**Home Page**]. 2008. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org> >. Acesso em: 03 abr. 2008.

7. ANEXOS

7.1 - ANEXO A1

Coeficientes de condutibilidade térmica

Material	K (kcal/h *m* °C)
Água (Parada)	0,50
Algodão	0,047
Alumínio	175
Amianto	0,17
Argamassa	0,75
Argila	0,80
Asfalto	0,60
Aço	39
Bidim (op 40)	0,024
Bloco de vidro	0,39
Borracha	0,15
Bronze	55
Cerâmica	0,40
Chumbo	30
Cimento amianto	0,13
Cinazita	0,40
Cobre	332
Concreto	1,30
Concreto armado	1,30
Concreto celular (d = 400 kg/m ³)	0,30
Feutro	0,036
Ferro	40
Fibra de vidro	0,20
Fibro Cimento	0,40

Gelo	0,80
Gesso	0,40
Isopor	0,025
Lã	0,033
Lã de rocha	0,035
Lã de vidro (densidade 20 kg/m ³)	0,030
Madeira (peroba)	0,20
Madeira (pinho)	0,14
Mármore	2,50
Ouro	267
Papel	0,042
Papelão	0,089
Poliuretano	0,02
Telha de barro	1,14
Tijolo furado	0,35
Tijolo maciço	0,70
Vidro comum	0,65
Zinco	96

Fonte: http://www.itarcon.com.br/tabelaspraticas/coef_condut_termica.htm

7.2 - ANEXO A2

Termômetro - Modelo: MT-320

Características Técnicas:

- Display: LCD com iluminação.
- Tempo de Resposta: 500ms para alcançar 95% da leitura.
- Indicação de Polaridade: Automática, positiva omitida e negativa indicada.
- Indicação de Bateria Fraca: é mostrado quando a tensão da bateria cair abaixo da tensão normal de operação.

- Ambiente de Operação: 0 ~ 50°C (32°F ~ 120°F).
- Ambiente de Armazenamento: -20°C ~ 65°C (-4°F ~ 150°F).
- Umidade Relativa: 10% < RH < 95% (até 30°C).
- Alimentação: Bateria de 9V (6LF22, NEDA1604).
- Duração da Bateria: Aprox. 12 horas (alcalina).
- Dimensões: 184(A) x 45(L) x 38(P)mm (7.25" x 1.75" x 1.5").
- Peso: Aprox. 227g

Parte elétrica:

- Faixas: -18°C ~ 260°C ou 0°F ~ 500°F
- Precisão: -1°C ~ 260°C (30°F ~ 500°F) ± 2%Leit ou ± 2°C (±3.5°F)
- 18°C ~ -1°C (0°F ~ 30°F) ± 4°C (±7°F)
- Resolução: 0.5°C ou 1°F
- Emissividade: Pré-ajustado em 0.95

Fonte: <http://www.minipa.com.br/Produtos/DetailsProduct.aspx?id=131>

7.3 - ANEXO A3

Termo Higrômetro Modelo:MT-242

Características Técnicas:

- Display: Triplo.
- Temperatura Interna em °C ou °F.
- Relógio com Indicação no Formato 12h ou 24h.
- Uso Residencial, Hospitalar, Escritórios.
- Higrômetro e Termômetro com Indicação de MAX / MIN.
- Temperatura de Operação: 0°C ~ 50°C, RH < 95%.
- Temperatura de Armazenamento: -20°C ~ 60°C, RH < 95%.
- Alimentação: 1 Pilha AAA.
- Dimensões: 108(A) x 58(L) x 15(P)mm.
- Peso: 100g.

Temperatura Interna

- Faixa: 0°C ~ 50°C (32°F ~ 122°F)
- Precisão: 0°C ~ 40°C ± 1°C; 40°C ~ 50°C ± 2°C; 32°F ~ 104°F ± 2°F; 104°F ~ 122°F ± 4°F

Umidade Interna

- Faixa: 5% ~ 19% (Indicação LO); 20% ~ 90% (Display com Dois Dígitos); 91% ~ 95% (Indicação HI)
- Precisão: 5% ~ 24% ± 10%; 25% ~ 80% ± 5% somente para 20°C ~ 30°C; 25% ~ 60% ± 5%; 61% ~ 95% ± 10%

Fonte: <http://www.minipa.com.br/Produtos/DetailsProduct.aspx?id=136>

7.4 - ANEXO A4

Calor específico das substâncias

Substância	Calor Específico (cal/g.°C)
água	1,0
álcool	0,6
alumínio	0,22
ar	0,24
carbono	0,12
chumbo	0,031
cobre	0,093
ferro	0,11
gelo	0,5
hélio	1,25
hidrogênio	3,4
latão	0,092
madeira	0,42
mercúrio	0,033
nitrogênio	0,25
ouro	0,032
oxigênio	0,22
prata	0,056
rochas	0,21
vidro	0,16
zinco	0,093

Fonte : http://pt.wikipedia.org/wiki/Calor_espec%C3%ADfico

7.5 - ANEXO A5

Condicionador de ar Air Master 21.000 BTUs

Consul			
Informações técnicas / Nicho			
Condicionador de Ar Air Master 21.000			
Capacidade térmica		BTU/h	21.000
Compressor			Rotativo
Consumo	220V	W/h	2650
Corrente	220V	A	12,7
Dimensões embalado (AxLxP)		mm	475x710x780
Dimensões sem embalagem (AxLxP)		mm	400x660x705
Eficiência	220V	Kcal/Wh	7,7
Frequência		Hz	60
Peso com embalagem		kg	56,7
Peso sem embalagem		kg	55,2
Recirculação de ar		m³/h	520
Remoção de umidade	220V	l/h	2,77
Tensão		V	220

Fonte: www.consul.com.br

FOTO DA BANCADA

